



SKRIPSI (ME – 141501)

**STUDI ANALISA TRANSIENT RESPONSE FIRST ORDER DAN SECOND
ORDER THEORY PADA SISTEM KONTROL PNEUMATIS
MENGUNAKAN INSTRUMEN FEEDBACK TIPE PCM140**

**TAUFIQ HIDAYATURRAHMAN
4214106002**

**DOSEN PEMBIMBING
Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.
Indra Ranu Kusuma, S.T., M.Sc.**

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**

“Halaman Sengaja Dikosongkan”



THESIS (ME – 141501)

**STUDY OF ANALYSIS TRANSIENT RESPONSE FIRST ORDER AND
SECOND ORDER THEORY IN PNEUMATIC CONTROL SYSTEM USING
FEEDBACK INSTRUMENT TYPE PCM140**

**TAUFIQ HIDAYATURRAHMAN
4214106002**

**ACADEMIC SUPERVISOR
Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.
Indra Ranu Kusuma, S.T., M.Sc.**

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUTE OF TECHNOLOGY SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI ANALISA TRANSIENT RESPONSE FIRST ORDER DAN
SECOND ORDER THEORY PADA SISTEM KONTROL PNEUMATIS
MENGUNAKAN INSTRUMEN FEEDBACK TIPE PCM140**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan
memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System* (MEAS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi
Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

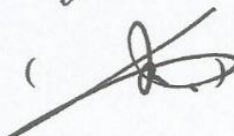
Taufiq Hidayaturrehman
NRP. 4214 106 002

Disetujui oleh Dosen Pemimbing Skripsi :

Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.
NIP. 1960 0319 1987 01 1001

()

Indra Ranu Kusuma, S.T, M.Sc.
NIP. 1979 0327 2003 12 1001

()

Surabaya
Juli, 2017

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI ANALISA TRANSIENT RESPONSE FIRST ORDER DAN SECOND ORDER THEORY PADA SISTEM KONTROL PNEUMATIS MENGUNAKAN INSTRUMEN FEEDBACK TIPE PCM140

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan
memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System* (MEAS)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Taufiq Hidayaturrehman
NRP. 4214 106 002

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST. MT
NIP. 1977 0802 2008 01 1007

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

STUDI ANALISA TRANSIENT RESPONSE FIRST ORDER DAN SECOND ORDER THEORY PADA SISTEM KONTROL PNEUMATIS MENGGUNAKAN INSTRUMEN FEEDBACK TIPE PCM140

Nama Mahasiswa : Taufiq Hidayaturrahman
NRP : 4214 106 002
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.
2. Indra Ranu Kusuma, S.T., M.Sc.

Abstrak

Dalam bidang marine, khususnya pada kapal beberapa pengaplikasian dari sistem kontrol pneumatis dapat ditemukan adalah pada *ramp door* kapal, pintu navigasi, maupun mekanisme valve yang menggunakan fluida udara sebagai penggerakannya. Pengertian umum dari sistem kontrol itu sendiri adalah proses pengaturan/pengendalian terhadap satu atau beberapa besaran sehingga berada pada suatu harga atau dalam rangkuman harga tertentu. Secara sederhana prinsip dari kontrol otomatis, yaitu membandingkan nilai yang sebenarnya dari keluaran (*output*) sistem secara keseluruhan (*plant*) dengan mengacu pada masukan (*input*). Berdasarkan proses pengendaliannya, sistem kontrol dibedakan menjadi rangkaian terbuka (*open loop*) dan tertutup (*closed loop*). Untuk menguji performa dari instrumen feedback tipe PCM140 dapat menggunakan sinyal uji untuk mengetahui respon sistem, diantaranya adalah sinyal step, ramp, dan sinusoidal baik untuk sistem orde pertama ataupun kedua. Sedangkan pada sistem orde kedua akibat adanya peredaman pada sistem, muncul karakteristik berupa *damping ratio* dan *overshoot*. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan cara melakukan percobaan secara berulang ulang dan melakukan analisa data percobaan. Pada hasil analisa didapatkan nilai waktu konstan 0,151 detik (orde satu) dan 0,359 detik (orde dua), dengan waktu delay 1,056 detik (orde satu) dan 0,013 detik (orde dua). Pada sistem orde dua memiliki *damping ratio* sebesar 0,3 dengan *overshoot* sebesar 0,37%. Nilai frekuensi sinusoidal sebesar 88,13 dengan amplitudo rasio sebesar 1,208, terbentuk sudut fase sebesar $85,71^\circ$ untuk orde satu dan nilai sinusoidal sebesar 0,762, dengan amplitudo rasio 1,66, terbentuk sudut fase $76,59^\circ$ untuk (orde kedua). Hal ini sekaligus membuktikan dengan adanya peredaman, respon sistem menjadi lebih halus (getaran lebih sedikit karena gelombang yang dihasilkan lebih renggang). Dengan hasil analisa tersebut dapat disimpulkan bahwa instrumen feedback tipe PCM140 dalam kondisi baik.

Kata kunci : *kontrol pneumatis, transient, sistem response, step, ramp, sinusoidal, damping ratio, overshoot.*

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

**STUDY OF ANALYSIS TRANSIENT RESPONSE FIRST ORDER AND
SECOND ORDER THEORY IN PNEUMATIC CONTROL SYSTEM USING
FEEDBACK INSTRUMENT TYPE PCM140**

Student Name : Taufiq Hidayaturrahman
NRP : 4214 106 002
Departement : Teknik Sistem Perkapalan
Academic Supervisor : 1. Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.
2. Indra Ranu Kusuma, S.T., M.Sc.

Abstract

In marine scope especially on ships, pneumatic control system applied in ramp door ships, navigation door, and also valve mechanism that uses air flow as moveable fluid. Generally, the description of control system is a process to control or restraint of one or many variables in a purpose to keep the value in desired range. Simply, principle of automatic control, is to compare the actual value from the system output in a plant with according to the value from the input. According to control process, control system is consist of open loop and closed loop. A testing method for feedback instrument type PCM140 are using standart testing signal to analize system response, there are step, ramp, and sinusoidal signals for both first order and second order system. While in caused of damping in second order system, the characteristic of second order system shows in damping ratio and overshoot. This research using an experimental method with repeated experiment and analyze the data. As analiyzing result obtained time constant of the system 0,151 seconds (first order) and 0,359 seconds (second order), with a delay time 1,056 seconds (first order) and 0,013 seconds (second order). In the second order system has damping ratio 0,3 with the overshoot 0,37%. The sinusoidal frequency is 88,13 with the amplitude ratio 1,208 and phase lag is 85,71° for first order, and sinusoidal frequency is 0,762 with the amplitude ratio 1,66 and phase lag is 76,59° for second order. This results verified that, with the damping in the system, the system response become smooth (less vibration because of sine wave produced is interruptedly). With the results from analysis can be concluded that feedback instrument type PCM140 condition is still good.

Keywords : pneumatic control, transient, system response, step, ramp, sinusoidal, damping ratio, overshoot.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah S.W.T berkat limpahan rahmat, hidayah dan bimbingan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“studi analisa transient response *first order* dan *second order theory* pada sistem kontrol pneumatis menggunakan instrumen feedback tipe PCM140”** dengan baik dan lancar. Sholawat serta salam juga tercurah atas junjungan nabi besar Muhammad S.A.W. yang diharapkan syafaatnya hingga diakhir kiamat.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam penyelesaian tugas akhir ini tidak lepas dari dukungan dan doa berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada :

1. Bapak Ir. Sardono Sarwito, M.Sc. selaku dosen pembimbing 1 yang telah memberikan semangat, arahan, masukan, dan ilmu kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Indra Ranu Kusuma, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing 2 yang juga turut memberikan semangat, arahan, masukan, dan ilmu kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T. M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan.
4. Bapak Dr. Dhimas Widhi Handani, S.T., M.Sc. selaku dosen wali penulis, atas nasehat dan bimbingannya selama ini.
5. Bapak Agus dan bapak Heru, selaku teknisi laboratorium MEAS yang telah membantu penulis dalam melakukan pengerjaan tugas akhir ini dari mulai memperbaiki peralatan hingga penulis dapat melakukan eksperimen hingga selesai.
6. Chairil Ismail, dan Istiqomah, selaku kedua orang tua penulis yang tidak henti hentinya memberikan doa, semangat, nasehat, dan segala bentuk dukungan kepada penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Kiki Indah Sari, selaku perempuan yang selalu setia menemani penulis, memberikan semangat, saran, dukungan, dan “marah”nya kepada penulis sehingga penulis kembali mendapatkan motivasi untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Teman – teman seperjuangan sekaligus sahabat penulis, Ridhwan, Bajeng, Sigit, Bayu, yang selalu memberikan bantuan hiburan dan semangat kepada penulis.

9. Kawan seperjuangan dan seangkatan mahasiswa Lintas Jalur Genap 2014 yang selalu mendukung dan memberikan solusi kepada penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari pula bahwa penyusunan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu perlunya saran dan masukan demi membangun kebaikan dan kemajuan tugas akhir ini untuk kedepannya agar dapat berguna untuk jurusan maupun bagi diri penulis pribadi. Akhir kata semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi yang membutuhkannya, aamiin.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR GRAFIK.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I	
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	1
1.3. Tujuan.....	2
1.4. Manfaat.....	2
1.5. Batasan Masalah	2
BAB II	
TINJAUAN PUSTAKA	3
Pengertian sistem kontrol secara umum.....	3
2.1. Pengertian sistem kontrol secara umum	3
2.2. Tanggapan sistem (<i>system response</i>).....	4
2.2.1. Karakteristik respon waktu (<i>time response</i>).....	4
2.2.2. Karakteristik respon frekuensi (<i>frequency response</i>).....	5
2.2.3. Macam macam sinyal uji	5
2.3. Teori orde pertama (<i>first order theory</i>).....	5
2.3.1. <i>Closed loop transfer function</i>	5
2.3.2. <i>Step input response</i>	6
2.3.3. <i>Ramp input respon</i>	7
2.3.4. <i>Sinusoidal input response</i>	8
2.4. Teori orde kedua (<i>second order theory</i>)	9
2.4.1. <i>Mechanical lag unit</i>	9
2.4.2. <i>Closed loop transfer function</i>	10
2.4.3. <i>Step input response</i>	11
2.4.4. <i>Ramp input respon</i>	15
2.4.5. <i>Sinusoidal input response</i>	15
2.5. Eksperimen untuk <i>first order</i> dan <i>second order</i>	17
2.5.1. Sistem di deskripsikan dengan orde pertama	17
2.5.1.1. <i>Open loop test</i>	17
2.5.1.2. <i>Closed loop test</i>	18
2.5.1.3. Respon untuk step input	18
2.5.1.4. Respon untuk ramp input	19
2.5.1.5. Respon untuk frekuensi.....	19

2.5.1.6. Efek dari variasi penguatan (<i>gain setting</i>).....	19
2.5.2. Sistem di deskripsikan dengan orde kedua	19
2.5.2.1. Respon untuk step input	20
2.5.2.2. Respon untuk ramp input	20
2.5.2.3. Respon untuk frekuensi	21
BAB III	
METODOLOGI.....	23
3.1. Metode penelitian	24
3.2. Identifikasi masalah.....	24
3.3. Studi literatur	24
3.4. Persiapan alat.....	24
3.5. Set up peralatan	25
3.6. Uji eksperimen.....	28
3.7. Analisa dan pembahasan.....	28
3.8. Kesimpulan dan saran.....	28
BAB IV	
ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1. Pengambilan data.....	29
4.1.1. <i>First order – open loop</i>	29
4.1.2. <i>First order – closed loop</i>	29
4.1.3. <i>Second order</i>	30
4.2. Perhitungan	30
4.2.1. <i>First order</i>	30
4.2.2. <i>Second order</i>	34
4.3. Analisa Grafik.....	40
4.3.1. <i>First order</i>	40
4.3.2. <i>Second order</i>	55
4.4. Pembahasan.....	61
BAB V	
KESIMPULAN DAN SARAN.....	65
5.1. Kesimpulan.....	65
5.2. Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Open loop transfer function first order.....	5
Gambar 2.2. Closed loop transfer function first order	5
Gambar 2.3. Respon untuk step input	7
Gambar 2.4. Respon untuk step input pada kondisi awal	7
Gambar 2.5. Respon untuk ramp input	7
Gambar 2.6. Respon kecepatan aliran konstan pada ramp input	8
Gambar 2.7. Respon frekuensi sinusoidal.....	9
Gambar 2.8. Susunan pada second order	9
Gambar 2.9. Closed loop transfer function	10
Gambar 2.10. Beragam tipe damping ratio berdasarkan sifat peredamannya.....	12
Gambar 2.11. Underdamped pada step input.....	13
Gambar 2.12. Overshoot	14
Gambar 2.13. Respon kecepatan aliran konstan pada ramp input second order	15
Gambar 2.14. Sinusoidal respon second order.....	16
Gambar 2.15. Nilai $\tan \phi$	16
Gambar 2.16. Hasil triangular trace dari output.....	17
Gambar 2.17. Displacement flapper	18
Gambar 2.18. Karakteristik bentuk respon ramp pada recorder	20
Gambar 2.19. Amplitudo ratio dan phase lag	21
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	23
Gambar 3.2.A. Rangkaian first order – open loop	25
Gambar 3.2.B. Foto Rangkaian first order – open loop	26
Gambar 3.3.A. Rangkaian first order – closed loop.....	26
Gambar 3.3.B. Foto rangkaian first order – closed loop.....	27
Gambar 3.4.A. Rangkaian second order	27
Gambar 3.4.B. Foto rangkaian second order	28
Gambar 4.1. Open loop – first order	61
Gambar 4.2. Closed loop – first order.....	61
Gambar 4.3. Closed loop – second order	62

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1. Nilai step input 10 psi pada first order open loop.....	41
Grafik 4.2. Nilai step input di semua variasi tekanan pada first order open loop	42
Grafik 4.3. Nilai step input 10 psi pada first order closed loop	43
Grafik 4.4. Nilai step input di semua variasi tekanan pada first order closed loop..	44
Grafik 4.5. Sinyal step respon pada MATLAB – open loop.....	45
Grafik 4.6. Sinyal step respon pada MATLAB – closed loop	46
Grafik 4.7. Nilai ramp 10 psi pada first order open loop	47
Grafik 4.8. Nilai ramp di semua variasi tekanan pada first order open loop	48
Grafik 4.9. Nilai ramp kondisi awal 10 psi pada first order closed loop	49
Grafik 4.10. Nilai ramp kondisi awal di semua variasi tekanan pada first order closed loop	50
Grafik 4.11. Sinyal ramp respon pada MATLAB – open loop	51
Grafik 4.12. Sinyal ramp respon pada MATLAB – closed loop.....	52
Grafik 4.13. Hubungan frekuensi sinusoidal 10 psi	53
Grafik 4.14. Hubungan frekuensi sinusoidal pada semua variasi tekanan.....	54
Grafik 4.15. Sinyal sinusoidal respon pada MATLAB.....	55
Grafik 4.16. Sinyal step respon second order pada MATLAB – open loop	56
Grafik 4.17. Sinyal step respon second order pada MATLAB – closed loop.....	57
Grafik 4.18. Sinyal ramp respon second order pada MATLAB – open loop	54
Grafik 4.19. Sinyal ramp respon second order pada MATLAB – closed loop	58
Grafik 4.20. Sinyal sinusoidal respon second order pada MATLAB	59

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Data hasil pengamatan open loop test first order	29
Tabel 4.2. Data hasil pengamatan closed loop test first order	29
Tabel 4.3. Data hasil pengamatan second order.....	30
Tabel 4.4. Hasil perhitungan integrator konstan	31
Tabel 4.5. Hasil perhitungan step input	33
Tabel 4.6. Hasil perhitungan ramp input.....	33
Tabel 4.7. Hasil perhitungan respon frekuensi sinusoidal	34
Tabel 4.8. Hasil perhitungan frekuensi natural dan rasio peredaman	36
Tabel 4.9. Hasil perhitungan nilai step dan overshoot pada second order	37
Tabel 4.10. Hasil perhitungan ramp input second order	38
Tabel 4.11. Hasil perhitungan amplitudo ratio dan phase lag	40
Tabel 4.12. Nilai step pada kondisi awal	43
Tabel 4.13. Nilai ramp pada kondisi awal	49
Tabel 4.14. Frekuensi sinusoidal dan amplitudo ratio	53

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring berkembangnya teknologi yang semakin canggih, banyak teknologi yang diciptakan dengan tujuan untuk memudahkan pekerjaan manusia, salah satunya adalah sistem kendali atau sering juga disebut sebagai sistem kontrol. Jika sebuah sistem yang tadinya membutuhkan tenaga manusia sebagai masukan (*input*) dan ketidaksesuaian (*error*) pada hasilnya (*output*) sangat dipengaruhi oleh operator, maka dengan adanya sebuah sistem kontrol hal ini diharapkan dapat meminimalisir terjadinya eror tersebut, selain itu dengan pengoperasiannya yang lebih mudah, sehingga tenaga manusia yang digunakan akan lebih sedikit. Berdasarkan sumber penggeraknya, sistem kontrol dapat dibedakan menjadi 4 macam, diantaranya adalah sistem kontrol mekanik, elektrik, maupun yang menggunakan fluida seperti hidrolis ataupun pneumatis.

Pada sistem mekanikal biasanya pengendalian plantnya terhubung langsung secara mekanikal, sedangkan pada sistem elektrik lebih banyak menggunakan sensor ataupun sinyal yang akan dijadikan sebagai indikator untuk mengontrol suatu plant. Pada sistem pneumatis ataupun hidrolis memiliki cara kerja yang hampir sama, perbedaannya hanyalah pada fluida yang digunakan sehingga ada perbedaan karakteristik. Perbedaan tersebut diantaranya adalah udara dan gas pada sistem pneumatis dapat dimampatkan sedangkan oli pada sistem hidrolis tidak dapat dimampatkan. Penggunaan udara mengakibatkan sifat pelumasan pada sistem menjadi berkurang dan selalu mengandung uap air, sementara pada sistem hidrolis fungsi oli itu sendiri adalah sebagai fluida hidrolis dan juga sebagai pelumas. Tekanan operasi normal sistem pneumatis jauh lebih rendah dari pada sistem hidrolis.

Di bidang industrial sistem pneumatis biasanya digunakan dalam otomatisasi mesin – mesin produksi dan dalam bidang kontroler otomatis, misalnya pada rangkain pneumatis yang mengubah energi udara dan dimanfaatkan menjadi energi mekanik yang digunakan secara luas. Sedangkan pada bidang marine khususnya pada kapal, salah satu sistem kontroler pneumatis dapat ditemukan adalah pada *ramp door* kapal. Alasan mengapa penelitian ini dilakukan adalah untuk mempelajari bagaimana karakteristik *transient response* serta bagaimana karakteristik pengujian sinyal standar atau tanggapan sistem (step, ramp, dan sinusoidal input) menggunakan teori first order dan second order pada instrumen feedback tipe PCM140 untuk mengetahui performa dari sistem tersebut.

1.2. Perumusan Masalah

- 1.2.1. Bagaimana karakteristik *transient response* dari rangkaian sistem susunan pertama (*first order*) dan kedua (*second order*) menggunakan instrumen feedback tipe PCM140.
 - a. *Time constant*
 - b. *Overshoot*
 - c. *Damping ratio*

- 1.2.2. Bagaimana karakteristik performa sistem dengan pengujian sinyal standar pada teori susunan pertama (*first order*) dan kedua (*second order*) menggunakan instrumen feedback tipe PCM140.
 - a. *Step response*
 - b. *Ramp response*
 - c. *Sinusoidal response*

1.3. Tujuan Skripsi

- 1.3.1. Mengetahui bagaimana perbedaan karakteristik dari sistem *first order* dan *second order* pada suatu sistem kontrol pneumatis.
- 1.3.2. Mengetahui karakteristik transient response (*time constant*, *overshoot*, dan *damping ratio*) pada suatu sistem kontrol berdasarkan teori susunan pertama (*first order*) dan susunan kedua (*second order*) dengan menggunakan instrumen feedback tipe PCM140.
- 1.3.3. Mengetahui karakteristik dari sistem dengan pengujian sinyal standar (respon step, ramp, dan sinusoidal) pada teori susunan pertama (*first order*) dan kedua (*second order*) dengan menggunakan instrumen feedback tipe PCM140

1.4. Manfaat

- 1.4.1. Mengenal bagaimana karakteristik dari suatu sistem kontrol pneumatis dengan teori susunan pertama dan kedua serta pengaplikasiannya pada bidang marine.
- 1.4.2. Mengetahui bagaimana performa dari suatu sistem kontrol pneumatis berdasarkan pengujian sinyal standar.
- 1.4.3. Sebagai acuan pembelajaran mengenai sistem kontrol pneumatis menggunakan instrumen feedback tipe PCM140.

1.5. Batasan Masalah

- 1.5.1. Penelitian ini menggunakan instrumen feedback kontroler pneumatis yang ada pada laboratorium listrik kapal dan sistem otomatisasi.
- 1.5.2. Acuan pengambilan data pada penelitian ini mengikuti percobaan dan prosedur yang disarankan sesuai dengan teori pada modul feedback PCM140.
- 1.5.3. Untuk memperkuat data hasil pengamatan, dilakukan simulasi model rangkaian sederhana dengan menggunakan software MATLAB.
- 1.5.4. Variabel yang diamati berupa :
 - a. Transient response (*time constant*, *overshoot*, *damping ratio*)
 - b. Respon terhadap sinyal pengujian standar (respon step, ramp, sinusoidal)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Sistem Kontrol Secara Umum

Pengertian umum dari kontrol itu sendiri adalah proses pengaturan/pengendalian terhadap satu atau beberapa besaran (kontrol, parameter) sehingga berada pada suatu harga atau dalam suatu rangkaian harga (range) tertentu. Dalam istilah lain, sistem pengendalian disebut juga sebagai teknik pengaturan, atau kontrol pengendalian.

Secara sederhana prinsip dari kontrol otomatis, yaitu membandingkan nilai yang sebenarnya dari keluaran (*output*) sistem secara keseluruhan (*plant*) dengan mengacu pada masukan (*input*), kemudian menentukan seberapa besar penyimpangan (*error*) yang ada dengan menghasilkan sinyal kontrol yang akan mengurangi penyimpangan tersebut menjadi nilai yang kecil (menjadi atau mendekati nol).

Secara umum kontrol dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan pelaksanaannya : dengan operator (manual) dan otomatis.
2. Berdasarkan proses pengendaliannya : Rangkaian tertutup (closed-loop) dan rangkaian terbuka (open-loop).
3. Berdasarkan tujuan pengendaliannya : Servo dan regulator.
4. Berdasarkan sumber penggeraknya : mekanik, elektrik, pneumatis (udara), dan hidrolik (cairan).
5. Berdasarkan Aksi Kontrolnya dapat dibedakan menjadi :

1. *Kontroler dua posisi ON-OFF*

Sistem kontroler ini merupakan elemen pembangkit yang hanya mempunyai dua posisi, yaitu ON dan OFF. Kontrol ini juga relatif murah dan sederhana.

2. *Kontroler Proporsional*

Sistem ini berhubungan dengan masukan kontroler $u(t)$ dan sinyal pembangkit kesalahan $e(t)$.

$$U(t) = e(t)$$

3. *Kontroler Integral*

Pada kontrol ini nilai masukan kontroler $u(t)$ diubah pada laju proporsional dengan sinyal pembangkit kesalahan $e(t)$.

$$\frac{du}{dt}(t) = K, e(t)$$

4. *Kontroler proporsional ditambah integral*

Kontroler ini didefinisikan dalam persamaan :

$$u(t) = K, e(t) + \frac{Kp}{Ki} \int_0^t e(t) dt$$

5. *Kontroler proposional ditambah turunan*

Didefinisikan dalam persamaan :

$$u(t) = K, e(t) + K, T_d \frac{de(t)}{dt}$$

6. *Kontroler proposional ditambah integral dan turunan*

Sistem ini merupakan kombinasi dari kontroler proposional, kontroler integral, dan kontroler turunan dengan persamaan :

$$u(t) = K, e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K, T_d \frac{de(t)}{dt}$$

2.2. Tangapan sistem (System Response)

Berdasarkan sinyal bentuk sinyal uji yang digunakan, karakteristik respon sistem dapat diklasifikasikan atas dua macam, yaitu karakteristik respon waktu (*time response*) dan karakteristik respon frekuensi (*frequency response*)

2.2.1. Karakteristik respon waktu (Time response)

Spesifikasi Respon *Transient*, adalah spesifikasi respon sistem yang diamati mulai saat terjadinya perubahan sinyal input/gangguan/beban sampai respon masuk dalam keadaan *steady state*. Tolak ukur yang digunakan untuk mengukur kualitas respon *transient* ini antara lain:

- ***Time constan (T)*** = Ukuran waktu yang menyatakan kecepatan respon, diukur mulai $t = 0$ s/d respon mencapai 63,2% dari respon *steady state*.
- ***Rise time (T_R)*** = Ukuran waktu yang menyatakan keberadaan suatu respon, yang diukur mulai respon 5% s/d 95% dari respon *steady state*.
- ***Settling time (T_s)*** = Ukuran waktu yang menyatakan respon telah masuk $\pm 0,5\%$, $\pm 2\%$, atau $\pm 5\%$ dari respon *steady state*
- ***Delay time (T_D)*** = Ukuran waktu yang menyatakan factor keterlambatan respon output terhadap input, diukur mulai $t = 0$ s/d respon mencapai 50% dari respon *steady state*.
- ***Overshoot*** = Nilai 4ontrol4 yang menyatakan perbandingan harga maksimum respon yang melampaui harga *steady state* 4ontrol4ng nilai *steady state*.
- ***Time peak (T_p)*** = Ukuran waktu yang diukur mulai dari $t = 0$ sampai mencapai nilai puncak maksimum.

Spesifikasi Respon *Steady State*, adalah spesifikasi respon sistem yang diamati mulai saat respon masuk dalam keadaan *steady state* sampai waktu tak terbatas (dalam praktek waktu pengamatan dilakukan saat $T_s \leq t \leq 5T_s$). Tolak ukur yang digunakan untuk mengukur kualitas respon *steady state* ini antara lain; *error steady state*.

2.2.2. Karakteristik Respon Frekuensi (*Frequency Respons*)

Karakteristik Respon Frekuensi, adalah karakteristik respon yang spesifikasi performansinya didasarkan pengamatan magnitude dan sudut fase dari penguatan/gain (*output/input*) sistem untuk masukan sinyal sinus ($A \sin \omega t$), pada rentang frekuensi $\omega = 0$ s/d $\omega = \infty$.

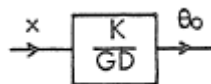
2.2.3. Macam macam sinyal uji

- Fungsi Step, berguna untuk menguji respon terhadap gangguan yang muncul tiba – tiba, dan melihat kemampuan 5ontro 5ontrol dalam memposisikan respon.
- Fungsi Ramp, fungsi berubah – ubah terhadap waktu, dan berguna untuk melihat kemampuan 5ontro 5ontrol untuk melacak target yang bergerak dengan kecepatan konstan.
- Fungsi Sinusoidal, berguna untuk menguji respon yang menerima input berupa sinyal sinus.
- Fungsi Impuls, berguna untuk menguji respon terhadap gangguan sesaat yang muncul.
- Fungsi Parabolik, berguna untuk mnguji kebutuhan akselerasi, dan kemampuan system untuk melacak objek yang bergerak dengan kecepatan yang berubah ubah.

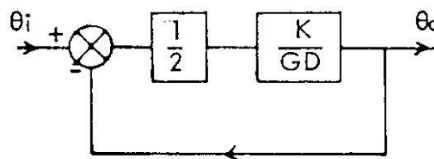
2.3. Teori orde pertama (First Order Theory)

2.3.1. Fungsi pemindahan rangkaian tertutup (Closed loop transfer function)

Sistem ini diperoleh dengan mengaitkan bagian tengah feedback dan dihubungkan langsung dengan flapper menggunakan rod, sehingga $z = x$. Block diagram untuk rangkaian sistem orde satu ditunjukkan pada gambar 2.1 dan 2.2



Gambar 2.1. open loop transfer function first order
(sumber : modul feedback PCM140)



Gambar 2.2. closed loop transfer function first order.
(sumber : modul feedback PCM140)

$$\theta_o = \frac{K}{2GD} (\theta_i - \theta_o)$$

$$\frac{\theta_o}{\theta_i} = \frac{1}{1 + TD}$$

Dimana $T = \frac{2G}{K}$, adalah waktu yang konstan, biasanya $T = 0,5$

Keterangan :

θ_o = output displacement
 θ_i = input displacement
 K = kombinasi konstanta
 G = faktor peredaman pada flapper
 D = operator
 T = waktu konstant

Fungsi rangkaian tertutup ini merupakan respon yang diberikan dari susuan pertama (first order). Penyelesaian yang lengkap dari input $\theta_i(t)$ adalah :

$(1 + DT) \theta_o = \theta_i(t)$
(Persamaan.1)

Untuk Complementary Function (C.F.), transient respon adalah :

$$\theta_o + TD \theta_o = 0$$

$\theta_o = A_1 e^{-t/T}$ dimana A_1 bernilai konstan.

Keterangan :

A = konstanta penggabungan
 E = kombinasi konstanta
 H_i = besarnya step input

2.3.2. Respon untuk step input (Gambar 2.3)

Input yang diasumsikan dengan pergerakan secara mendadak. Particular Integral (P.I.) adalah :

$\theta_o = \theta_i = H_i$ selama ini memenuhi persamaan 1.

Persamaan lengkapnya adalah :

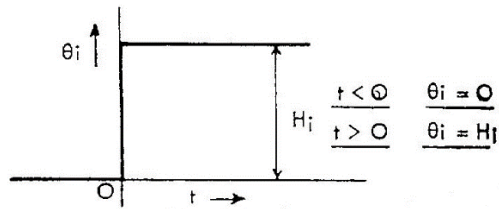
$$\theta_o = H_i + A_1 e^{-t/T}$$

Dan penggunaan ketika kondisi awal yaitu :

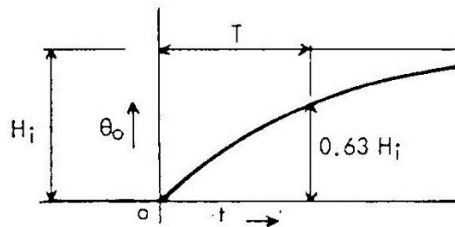
$$\theta_o = 0 \text{ pada } t = 0$$

$$\theta_o = H_i (1 - e^{-t/T}) \text{ (Persamaan.2)}$$

ketika nilai T diketahui, maka respon sistem sudah selesai dan dapat digambarkan.



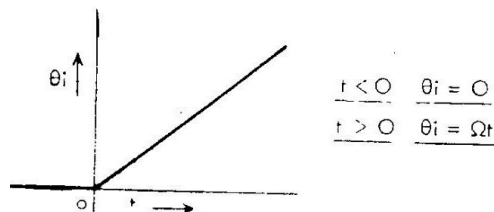
Gambar 2.3. Respon untuk step input
(sumber : modul feedback PCM140)



Gambar 2.4. Respon untuk step input pada kondisi awal.
(sumber : modul feedback PCM140)

Gambar 2.3 menunjukkan besar nilai step input pada sistem orde pertama, nilai input = nilai step. Gambar 2.4 menunjukkan keadaan respon step pada saat kondisi awal. Nilai step pada waktu konstan bernilai 63,2% dari nilai penuhnya.

2.3.3. Respon untuk ramp input (kecepatan aliran konstan)



Gambar 2.5. Respon untuk ramp input
(sumber : modul feedback PCM140)

$\theta_i = \Omega t$ Persamaan 1 menjadi : $\theta_o + T D \theta_o = \Omega t$

Dengan catatan : $\theta_o = \Omega(t - T)$ dan begitu juga untuk Particular Integral (P.I.).

Persamaan lengkapnya adalah :

$$\theta_o = \Omega(t - T) + A_1 e^{-t/T}$$

$$\theta_o = 0 \text{ pada } t = 0$$

$$\text{Maka } A_1 = \Omega T$$

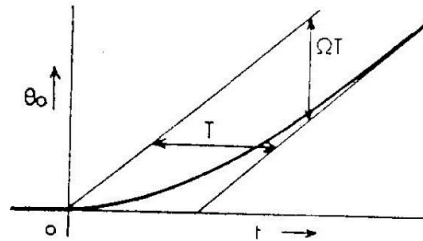
$$\theta_o = \Omega [t - T(1 - e^{-t/T})] \dots\dots\dots (\text{Persamaan.3})$$

Keterangan :

Ω = velocity input

ω = frekuensi sinusoidal input

ϕ = phase lags output



Gambar 2.6. Respon kecepatan aliran konstan pada ramp input.
(sumber : modul feedback PCM140)

Gambar 2.5 menunjukkan perbandingan nilai ramp terhadap waktu, nilai ramp input berbanding lurus terhadap waktu. Gambar 2.6 merupakan kondisi respon ramp pada saat kondisi awal, butuh waktu bagi sistem dari keadaan diam hingga mencapai kondisi konstannya sehingga terjadi output lags setelah input sebesar T . Hal ini disebut *Velocity Misalignment*.

Misalignment pada keadaan instan adalah ΩT . Dengan kata lain terjadi output lags setelah input pada suatu waktu T , dan Ω bebas.

2.3.4. Respon untuk sinusoidal input

$$\theta_i = |\theta_i| \sin \omega t$$

Persamaan 1 menjadi : $\theta_o + T d\theta_o = |\theta_i| \sin \omega t$ Nilai C.F. seketika hilang, sehingga menyebabkan nilai PI menjadi kondisi respon stabil (*steady state repnse*). Hal ini berbentuk sinusoidal pada ω .

$$\theta_o = |\theta_o| \sin(\omega t - \phi)$$

disubstitusikan menjadi :

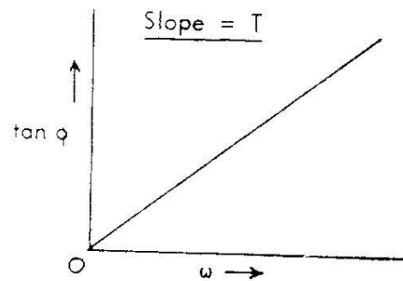
$$|\theta_o| \sin(\omega t - \phi) + T \omega |\theta_o| \cos(\omega t - \phi) = |\theta_i| \sin \omega t$$

Dimana :

$$\frac{|\theta_o|}{|\theta_i|} = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}} \dots\dots\dots \text{(Persamaan.4)}$$

$$\text{Dan : } \tan \phi = \omega T \dots\dots\dots \text{(Persamaan.5)}$$

Outputnya selalu disusutkan, mendekati nol pada frekuensi tinggi. Selalu terjadi lags setelah input, nilai ϕ adalah 45° pada $\omega = 1/T$ dan dijaga menjadi 90° pada frekuensi tinggi.



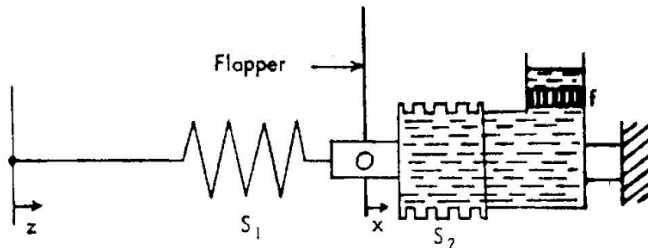
Gambar 2.7. Respon frekuensi sinusoidal
(sumber : modul feedback PCM140)

Gambar 2.7 menunjukkan perbandingan nilai sudut terhadap frekuensi sinusoidal. Pada sistem orde satu. Nilainya berbanding lurus. Semakin besar frekuensinya maka bentuk sudut yang dihasilkan semakin besar.

2.4. Teori orde kedua (Second Order Theory)

2.4.1. Mekanikal lag unit

Susunan lag yang pertama terjadi diantara hubungan feedback dengan flapper. Ini terdiri pada sebuah pegas dari stiffness pertama (S_1), dan dashpot.



Gambar 2.8. Susunan pada second order theory
(sumber : modul feedback PCM140)

Susunan lag yang kedua terdiri dari bellows yang mana memompa minyak melalui variable restrictor dan menghasilkan gaya tolak dari f_x (kecepatan flapper) stiffness yang kedua (S_2) dari dashpot karena karena gerakan mekanis stiffness antara bellows dan flapper bersamaan.

Pertimbangan keseimbangan gaya pada flapper,

$$S_1 (z - x) = S_2 x + fDx$$

$$x/z = \frac{S_1}{[S_1 + S_2]} \frac{1}{[1 + T_1 D]}$$

$$\text{dimana } T_1 = \frac{f}{S_1 + S_2}$$

Keterangan :

S_1 = kekakuan dari spring penghubung

S_2 = kekakuan efektif dari peredam

f = kekentalan peredam konstan pada pembatas

x = penggerak displacement dari besi penopang

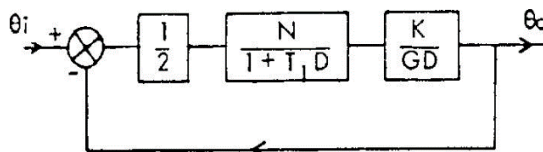
z = displacement dari tengah penghubung feedback

Sama dengan susunan yang pertama dan dengan waktu yang konstan (T_1), unit juga mengurangi sinyal eror dengan faktor :

$$N = \frac{S_1}{S_1 + S_2}$$

2.4.2. Fungsi pemindahan rangkaian tertutup (Closed loop transfer function)

Walaupun ada beberapa gaya pada output dari pegas pertama (S_1), dikarenakan sistem konstan, maka perbedaan tekanan yang sangat kecil dibutuhkan pada salah satu sisi piston untuk menekan dan nozzle-flapper-jack unit menunjukkan reaksi sebagai penghubung (lihat modul fig. 10A). Blok diagram untuk sistem orde dua dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Closed loop transfer function second order.
(sumber : modul feedback PCM140)

Fungsi dari open loop transfer function adalah :

$$\frac{NK}{2G} \frac{1}{D(1 + T_1 D)} = \frac{K_1}{D(1 + T_1 D)} \quad \text{sehingga : } K_1 = \frac{NK}{2G}$$

Fungsi dari closed loop transfer function adalah :

$$\frac{\theta_o}{\theta_i} = \frac{\frac{K_1}{T_1}}{D^2 + \frac{D}{T_1} + \frac{K_1}{T_1}}$$

$$\frac{\theta_o}{\theta_i} = \frac{\omega_n^2}{D^2 + 2\zeta\omega_n D + \omega_n^2}$$

Dimana :

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_1}{T_1}} \dots\dots\dots \text{natural frequency}$$

$$\zeta = \frac{1}{2\sqrt{K_1 T_1}} \dots\dots\dots \text{damping ratio}$$

biasanya :

$$\frac{\theta_o}{\theta_i} = \frac{16}{D^2 + 2.5D + 16D}$$

$\omega_n = 4$ dan $\zeta = 0.3$

respon pada input $\theta_i(t)$ diberikan oleh :

$$(D^2 + 2\zeta\omega_n D + \omega_n^2)\theta_o = \omega_n^2 \theta_i(t) \dots\dots\dots \text{(Persamaan.6)}$$

Dan untuk persamaan Complementary Function :

$$(D^2 + 2\zeta\omega_n D + \omega_n^2)\theta_o = 0$$

Dimana :

$$\theta_o = A_1 e^{m_1/T} + A_2 e^{m_2/T}$$

dimana m_1 dan m_2 merupakan akar dari :

$$(m^2 + 2\zeta\omega_n m + \omega_n^2) = 0 \text{ dan } A_1 \text{ dan } A_2 \text{ adalah konstan.}$$

$$m_1, m_2 = -\zeta\omega_n \pm \omega_n \sqrt{\zeta^2 - 1}$$

sehingga persamaan Complementary Function :

$$\theta_o = e^{-\zeta\omega_n t} \left[A_1 e^{+(\sqrt{\zeta^2 - 1})\omega_n t} + A_2 e^{-(\sqrt{\zeta^2 - 1})\omega_n t} \right]$$

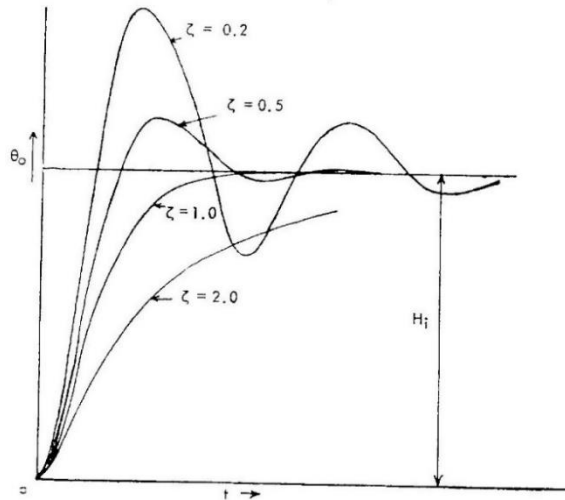
2.4.3. Respon untuk step input

P.I adalah $\theta_o = H_i$ selama memenuhi persamaan 6, dan persamaan lengkapnya adalah :

$$\theta_o = H_i + e^{-\zeta\omega_n t} \left[A_1 e^{+(\sqrt{\zeta^2 - 1})\omega_n t} + A_2 e^{-(\sqrt{\zeta^2 - 1})\omega_n t} \right]$$

Sifat dari persamaan bergantung pada seberapa banyak jumlah $(\zeta^2 - 1)$. Jika nilainya melebihi 1, ini termasuk dalam kategori *overdamped* yang berarti terjadi peredaman yang berlebihan sehingga sistem tidak akan pernah atau membutuhkan waktu lama untuk mencapai nilai inputnya. Jika nilainya kurang dari 1 maka ini termasuk pada kategori *underdamped* sehingga memiliki karakteristik nilai outputnya akan mengalami overshoot lalu kemudian perlahan-lahan mencapai titik stabilnya pada input. Jika nilainya sama dengan satu maka sistem ini dikategorikan sebagai *critically damped* yang berarti sistem tersebut memiliki ketepatan output yang sama dengan inputnya.

Beragam tipe peredaman diperlihatkan pada Gambar 2.10



Gambar 2.10. Beragam tipe damping ratio sesuai dengan sifat peredamannya.
(sumber : modul feedback PCM140)

- The Overdamped Case ($\zeta^2 > 1$)

Persamaannya adalah :

$$\theta_o = H_i \left[1 - e^{-\zeta \omega_n t} \left[\cos(\sqrt{\zeta^2 - 1}) \omega_n t + \frac{\zeta}{\sqrt{\zeta^2 - 1}} \sin(\sqrt{\zeta^2 - 1}) \omega_n t \right] \right]$$

ketika kondisi awal pemasangan, respon tidak berisolasi.

- The Critically-Damped Case ($\zeta^2 = 1$)

Respon hanya pada yang tidak berisolasi. Akar m_1 dan m_2 sama sehingga persamaan menjadi :

$$\theta_o = H_i [1 - e^{-\omega_n t} (1 + \omega_n t)]$$

- The Underdamped Case ($\zeta^2 < 1$)

$$\sqrt{\zeta^2 - 1} = i\sqrt{1 - \zeta^2}$$

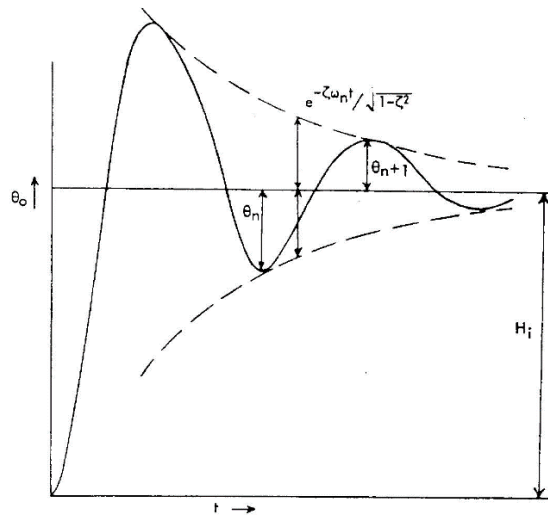
dimana $(1 - \zeta^2) > 0$ dan $i^2 = -1$

Persamaan lengkapnya menjadi :

$$\theta_o = H_i \left[1 - e^{-\zeta \omega_n t} \left[\cos(\sqrt{1 - \zeta^2}) \omega_n t + \frac{\zeta}{\sqrt{1 - \zeta^2}} \sin(\sqrt{1 - \zeta^2}) \omega_n t \right] \right] \dots\dots\dots$$

(Persamaan.7)

respon ini menghilangkan osilasi pada keadaan diam pada persamaan $\theta_o = H_i$



Gambar 2.11. osilasi *underdamped* pada persamaan $\theta_o = H_i$
(sumber : modul feedback PCM140)

Gambar 2.11 menunjukkan bagaimana keadaan respon transient pada sistem *underdamped*. Underdamped bisa saja memiliki overshoot lebih dari satu dengan nilai yang berbeda. Idealnya semakin lama akan semakin kecil dan mendekati nilai inputnya.

Envelopenya adalah :

$$\theta_o = H_i \left[1 \pm \frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{\sqrt{1-\zeta^2}} \right]$$

dan frekuensi dari damped oscillation adalah :

$$\omega_o = \omega_n \sqrt{1-\zeta^2}$$

Pembeda persamaan 7 dengan memberikan nilai t , maka :

$$\frac{d\theta_o}{dt} = H_i \frac{\omega_n}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega_n t} \sin\left(\sqrt{1-\zeta^2}\right) \omega_n t$$

θ_o menjadi maksimum atau minimum ketika ;

$$\left(\sqrt{1-\zeta^2}\right) \omega_n t = 0, \pi, 2\pi, \dots \dots \dots$$

Jarak waktu antara nilai maksimum berturut – turut dari overshoots dan undershoots adalah

$$\Delta t = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}}$$

Perbandingan dari maksimum displacement berturut – turut dari kondisi diam, nilai H_i adalah :

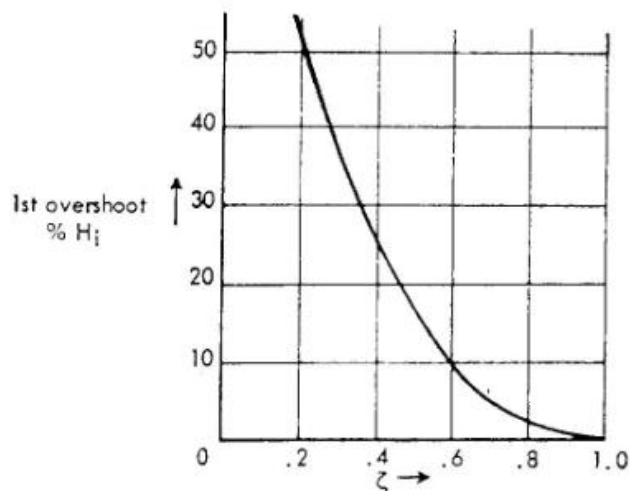
$$\begin{aligned}\frac{\theta_{n+1}}{\theta_n} &= \frac{e^{-\zeta\omega_n t(n+\Delta t)} \cos[\omega_n \sqrt{1-\zeta^2} (tn + \Delta t)]}{e^{-\zeta\omega_n t} \cos[(\sqrt{1-\zeta^2})\omega_n t n]} \\ &= e^{-\zeta\omega_n \Delta t} \\ &= \exp\left[\frac{-\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right]\end{aligned}$$

Pengurangan logaritmik (λ):

$$\begin{aligned}\lambda &= \log e \left| \frac{\theta_n}{\theta_{n+1}} \right| \\ \lambda &= \frac{\zeta\pi}{(\sqrt{1-\zeta^2})}\end{aligned}$$

Overshoot pertama pada sistem adalah : $H_i \cdot e^{-\frac{\pi\zeta}{(\sqrt{1-\zeta^2})}}$.

Beragam variasi overshoot dengan ζ diperlihatkan pada gambar 2.12.



Gambar 2.12. Grafik nilai ζ terhadap first overshoot (%)
(sumber : modul feedback PCM140)

Gambar 2.12 memperlihatkan perbandingan nilai *overshoot* terhadap rasio peredaman, semakin kecil peredamannya maka overshoot yang terjadi akan semakin besar.

2.4.4. Respon untuk ramp input (kecepatan aliran konstan)

Persamaannya menjadi :

$$(D^2 + 2\zeta\omega_n D + \omega_n^2)\theta = \omega_n^2 \Omega t$$

Yang dilengkapi dengan : $\theta_0 = \Omega \left(t - \frac{2\zeta}{\omega_n} \right)$ (Persamaan.8)

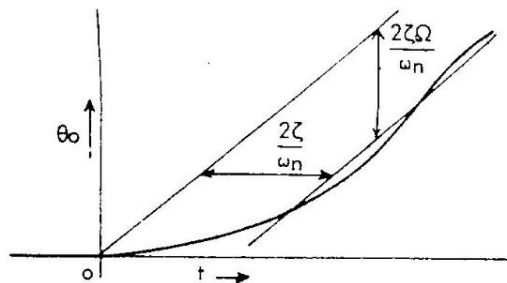
Persamaan untuk Particular Integral (P.I.)

Persamaan pelengkapanya adalah :

$$\theta_0 = \Omega \left(t - \frac{2\zeta}{\omega_n} + e^{-\zeta\omega_n t} \cdot \frac{2\zeta\Omega}{\omega_n} \cos[(\sqrt{1-\zeta^2})\omega_n t] + \frac{2\zeta^2 - 1}{2\zeta\sqrt{1-\zeta^2}} \sin[(\sqrt{1-\zeta^2})\omega_n t] \right)$$

..... (Persamaan.9)

ketidak sesuaian kecepatan aliran untuk sementara waktu menjadi demikian $\frac{2\zeta}{\omega_n}$ ketika mengalami kerusakan, terjadi output lag setelah input dengan waktu $\frac{2\zeta}{\omega_n}$ kebebasan dari Ω dapat dilihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.13. Respon kecepatan aliran konstan pada ramp second order
(sumber : modul feedback PCM140)

Gambar 2.13 memperlihatkan kondisi awal pada respon ramp di sistem orde kedua. Sama halnya dengan sistem orde satu hanya saja pada orde dua, delay yang terjadi lebih lama tergantung berapa besar damping rasio yang terjadi.

2.4.5. Respon untuk sinusoidal input

Persamaan 6 (Eqn.6) menjadi :

$$(D^2 + 2\zeta\omega_n D + \omega_n^2)\theta = \omega_n^2 |\theta_i| \sin \omega t$$

Nilai C.F. akhirnya hilang, meninggalkan sinyal sinusoidal pada respon keadaan diam pada frekuensi ω .

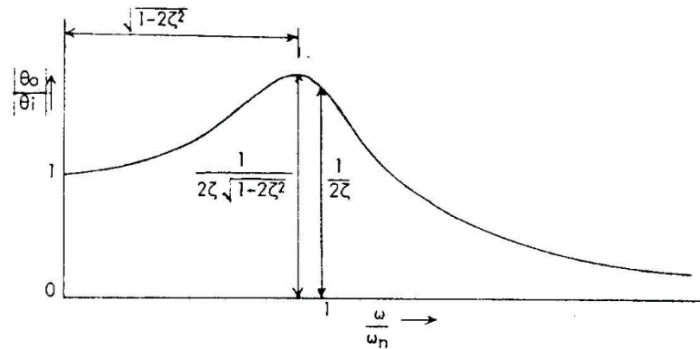
$$\theta_0 = |\theta_0| \sin(\omega t - \phi)$$

dan disubstitusikan pada persamaan berikut

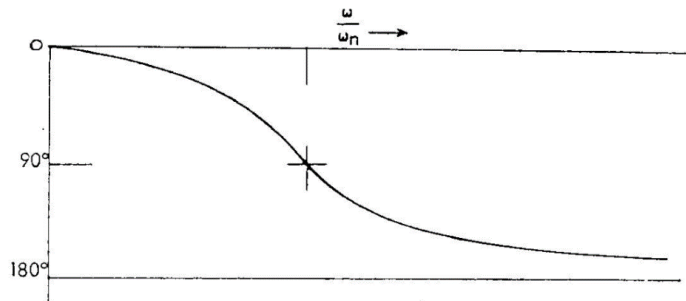
$$-\omega^2|\theta_o|\sin(\omega t - \phi) + 2\zeta\omega_n\omega|\theta_o|\cos(\omega t - \phi) + \omega_n^2|\theta_o|\sin(\omega t - \phi) = \omega_n^2|\theta_i|\sin \omega t$$

Dimana
$$\frac{|\theta_o|}{|\theta_i|} = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + 4\zeta^2\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}}$$

Dan
$$\tan \phi = \frac{2\zeta\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}$$



Gambar 2.14. Sinusoidal respon second order
(sumber : modul feedback PCM140)



Gambar 2.15. Nilai $\tan \phi$
(sumber : modul feedback PCM140)

Gambar 2.14 menunjukkan hubungan nilai sudut terhadap frekuensi sinusoidal. Pada sistem orde dua. Nilainya berbanding lurus. Semakin besar frekuensinya maka bentuk sudut yang dihasilkan semakin besar. Besarnya dapat dilihat pada gambar 2.15.

Perbandingan amplitudo $\frac{|\theta_o|}{|\theta_i|}$ bersatu pada frekuensi rendah, meningkat hingga maksimum di $\frac{1}{2\zeta\sqrt{1-\zeta^2}}$ pada $\frac{\omega}{\omega_n} = \sqrt{1-2\zeta^2}$ dan menuju ke nol pada frekuensi tinggi.

Fase keterlambatan (lag phase) ϕ menjadi nol pada frekuensi rendah dan menuju ke 180° pada frekuensi tinggi. Ini menjadi 90° pada $\omega = \omega_n$, dimana frekuensi perbandingan amplitudo $= 1/2\zeta$

2.5. Eksperimen untuk sistem dengan orde pertama (first order) dan orde kedua (second order)

2.5.1. Sistem dideskripsikan dengan orde pertama

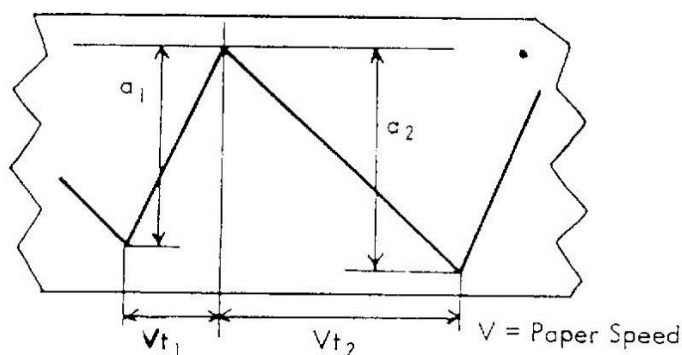
2.5.1.1. Tes Rangkaian Terbuka (Open Loop Test)

Tujuan dari test ini adalah untuk menentukan integrator konstan (K/G) dari kombinasi flapper valve-output jack termasuk redaman dari penopang (G).

Open loop test dimulai dengan menghilangkan error link, dengan cara memutar balik knurled sekrup penahan. (lihat modul fig 5A/2 dan 15), memasang open loop testing bracket pada backplate dengan 2 buah sekrup penahan, dan menghubungkan open loop testing rod dengan flapper. (Susunan ini dapat dilihat pada fig. 26 pada modul).

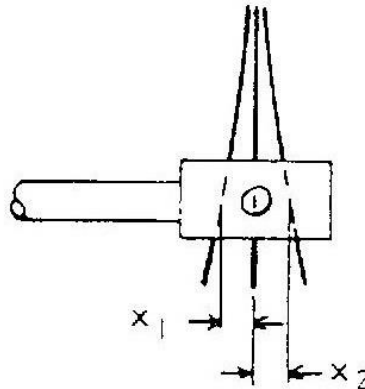
Penambahan gerakan harus sedikit, sebagai contoh ujung penjepit pada flapper dekat dengan nozzle untuk mencegah terjadi nya penjenjutan ketika loop di tutup. Penjenjutan tidak dihasilkan berbanding lurus dengan banyaknya pergerakan dari flapper, membuat flapper nozzle system melewati batas linearnya. Pembatas pada jalur pengetesan diatur untuk memberikan kecepatan piston yang kira kira hampir sama pada setiap arah.

Dengan menyalakan recorder, testing rod bergerak diantara pembatas dan menghasilkan triangular trace dari puplen output.



Gambar 2.16. Hasil triangular trace dari output
(sumber : modul feedback PCM140)

Jika x_1 dan x_2 merupakan displacement dari flapper pada tiap sisi pada posisi bebas (Gambar 2.17), maka hubungan kecepatan piston adalah $\frac{a_1}{t_1} + \frac{a_2}{t_2}$



Gambar 2.17. Displacement dari flapper pada tiap sisi pada posisi bebas (sumber : modul feedback PCM140)

Dengan demikian :

$$\frac{a_1}{t_1} = \frac{K}{G} x_1 \text{ dan } \frac{a_2}{t_2} = \frac{K}{G} x_2$$

$$\text{menjadi: } \left(\frac{a_1}{t_1} + \frac{a_2}{t_2} \right) = \frac{K}{G} (x_1 + x_2)$$

$(x_1 + x_2)$ dapat dihitung, contohnya dengan micrometer. Grafik perbandingan antara $\left(\frac{a_1}{t_1} + \frac{a_2}{t_2} \right)$ terhadap $(x_1 + x_2)$ berbanding lurus dan menghasilkan nilai $\frac{K}{G}$

2.5.1.2. Tes Rangkaian Tertutup (Closed Loop Test)

Tujuan dari pengetesan ini adalah untuk memverifikasi respon yang diprediksi untuk bermacam macam tipe input. Respon tsb didapatkan melalui recorder yang kemudian akan dianalisa. Respon tersebut juga dapat di tampilkan pada osiloskop.

2.5.1.3. Respon untuk step input

Step input diaplikasikan dengan menggerakan input member (fig. 29/11), open loop testing rod dilepas dan aliran tertutup. Langkah ini dapat dilakukan secara konsisten selama tidak ada penjenjuran udara pada valve paling besar 3/4" tergantung dari pengaturannya. Waktu konstant pada sistem diperoleh dari kurva output eksponensial. Sama seperti yang dijelaskan pada teori, dan dibandingkan dengan nilai hasil perhitungan.

2.5.1.4. Respon untuk ramp input

Input set-up dapat dilihat pada (fig. 29). Kecepatan aliran konstan pada cam (fig. 29/8) terpasang dengan input shaft dan roller follower (fig. 29/6), spring pembalik (fig. 29/2) juga harus dihubungkan pengatur kekencangan yang bisa di setel (adjustable stops slackened). Keadaan kelurusan kecepatan aliran dapat terlihat jelas dari hasil trace yang tergambar oleh pulpen.

2.5.1.5. Respon frekuensi

Set-up untuk sinusoidal input diperlihatkan pada (modul fig. 30) dengan adjustable stop slackened dan spring pembalik saling terhubung. Amplitudo ratio dan phase lag dapat diukur dari hasil record (lihat Gambar 2.19)

$$\text{Amplitudo ratio : } \frac{\theta_o}{\theta_i}$$

$$\text{Phase lag : } \phi = \left(\frac{b}{L} \right) \times 360$$

Frekuensi didapatkan dengan cara memberi waktu pada putaran input shaft, atau dari panjang gelombang L pada hasil record dan kecepatan kertas dihitung.

Vector locus dapat direncanakan dan dibuat dengan semi-circle secara teori. Waktu konstan pada sistem didapatkan dari amplitudo ratio. Dan phase lag sesuai dengan penjelasan secara teori.

2.5.1.6. Efek dari variasi penguatan (Gain Setting)

Pengurangan waktu secara konstan dengan penambahan gain, dapat diperiksa dengan kenaikan fixed end pada flapper. Pertambahan performa pada cara ini dibatasi oleh penjenjuran pada valve, (khususnya pada step input), dan juga dengan kenyataan dari efek tersebut berdampak pada pengurangan waktu secara konstan. Bahwa percepatan dari output member telah mencapai suatu bagian dimana hal tersebut berhubungan dengan massa tidak dapat diabaikan begitu saja.

2.5.2. Sistem dideskripsikan dengan orde kedua

Set-up pada sistem ini dapat dilihat pada fig. 5B. Sistem ini menggunakan sebuah spring penghubung bellow restrictor unit. Flapper gain harus lebih besar daripada sistem susunan pertama untuk menggantikan keadaan diam peredaman antara eror sinyal dan posisi flapper yang disebabkan oleh kekakuan dari bellows unit. Bagaimanapun juga kehati-hatian sangat diperlukan untuk memastikan bahwa penjenjuran tidak terjadi pada nozzle, khususnya pada penggabungan step input dan sinusoidal input.

Hasil terbaik bisa diperoleh dengan mengatur posisi bellows supaya tidak ada gaya yang ditransfer menuju input link dengan output central pada posisi seimbang, dan feedback link vertical. Ada atau tidaknya gaya dapat dideteksi

dengan adanya kecondongan pada input member yang bergerak dari posisi tengahnya.

2.5.2.1. Respon untuk step input

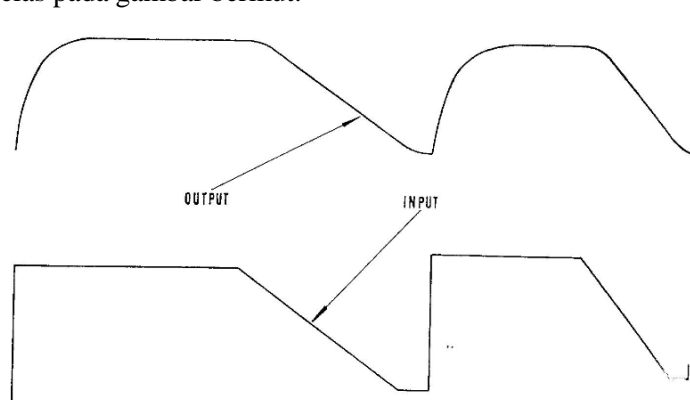
Step input dapat diaplikasikan dengan menggunakan adjustable stop pada input member, harap diperhatikan untuk tidak membiarkan udara menjadi jenuh pada valve. Besarnya overshoot rasio redaman (ζ), dapat dilihat pada gambar 20, dan dari frekuensi getaran peredam (oscillation damping), maka frekuensi alaminya dapat di perhitungkan dengan persamaan : $\omega_n = \sqrt{1 - \zeta^2}$ (Eqn.7)

Beragam respon (Gambar 19), dapat diperoleh dengan mengatur peningkatann dan dengan mengganti nilai waktu konstan pada lag unit. Overshoot pertama harus dibatasi pada 25-30% dari input untuk hasil yang terbaik.

2.5.2.2. Respon untuk ramp input

Kecepatan konstan cam dihubungkan pada input shaft dan roller follower pada input member, spring pembalik juga dihubungkan. Keadaan ketidaksesuaian aliran dapat terlihat jelas sama seperti sistem teori susunan pertama (first order theory system), dan dengan besaran yang sudah diukur sebelumnya.

Hasil ini dapat dibandingkan dengan nilai hasil perhitungan dari nilai ω_n dan ζ dari pengetesan sebelumnya. Karakteristik bentuk dari respon dapat terlihat jelas pada gambar berikut.



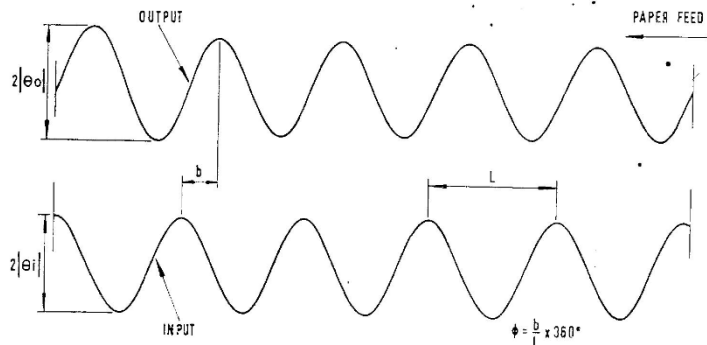
Gambar 2.18. Karakteristik bentuk respon ramp input pada recorder
(sumber : modul feedback PCM140)

Test ini dapat dijalankan dengan input shaft kecepatan rendah untuk mendapatkan waktu yang cukup bagi transient untuk hilang sebelum follower travel mencapai batasnya, sehingga ketidak sesuaian pada kondisi diam dapat diukur.

2.5.2.3. Respon untuk input frekuensi

Setup seperti yang digunakan sebelumnya digunakan untuk mendapatkan gerakan sinusoidal menuju input member. Amplitudo ratio dan phase lag dapat diukur melalui recorder seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.19.

Frekuensi akan terus bertambah sampai output amplitudo mengecil sampai nilai yang sangat kecil. Frekuensi untuk perubahan fase 90° memberikan nilai ω_n , amplitudo ratio pada frekuensi ini menyebabkan nilai ζ dapat diukur.

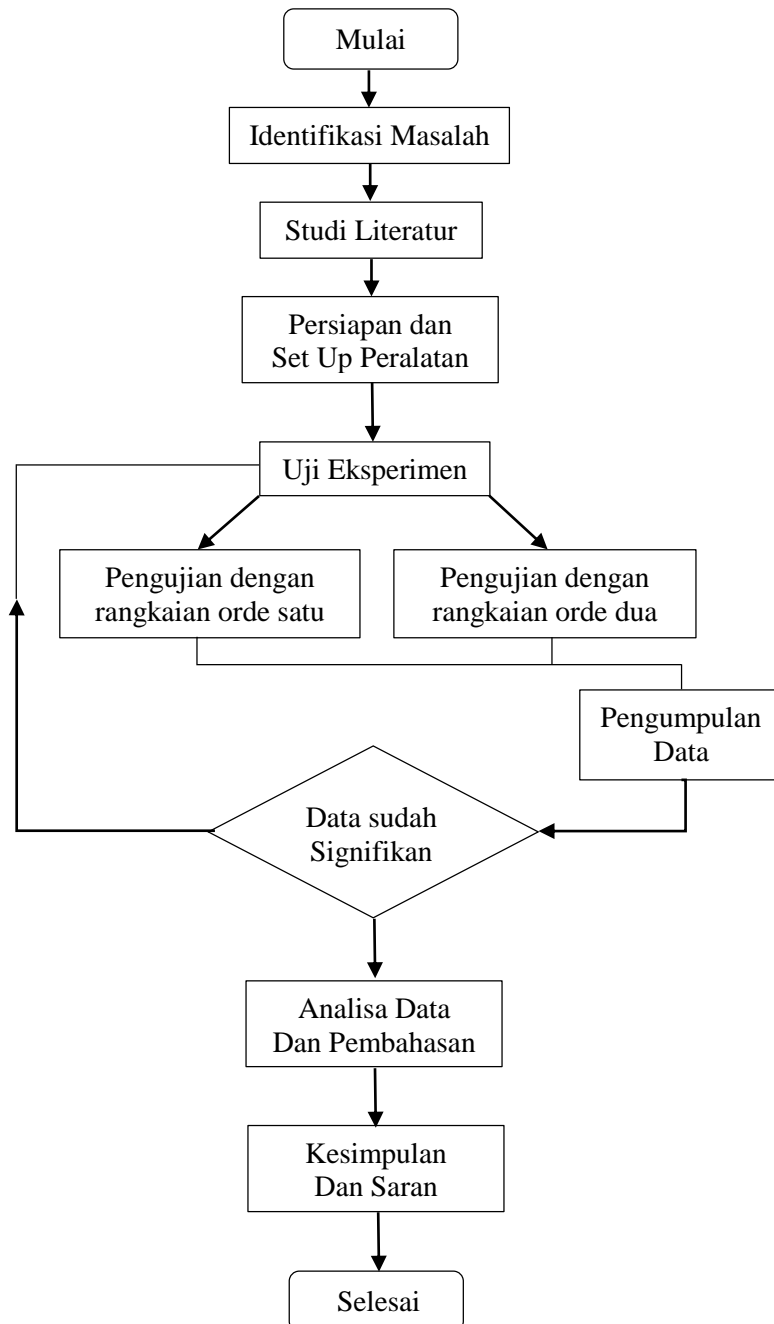


Gambar 2.19. Perhitungan amplitudo ratio dan phase lags pada recorder
(sumber : modul feedback PCM140)

Jika nilai damping ratio terlalu rendah karena seting peningkatan yang terlalu tinggi, akan menghasilkan gema yang berlebihan. Ini dapat menyebabkan piston menghantam bagian ujung pembatas, dan juga menyebabkan bentuk gelombang yang buruk karena proses penjenjuran. Dengan alasan ini, untuk menjaga kemungkinan terjadinya penjenjuran pada gema, sebaiknya diberi batasan pada first overshoot following step input pada kisaran 25-30%.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB III METODOLOGI



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.

3.1. Metode Penelitian

Metode yang digunakan penulis dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan metode eksperimen. Dimana pada penelitian ini akan dilakukan percobaan pengamatan menggunakan instrumen sistem kontroler pneumatis feedback tipe PCM140 yang akan dioperasikan pada kondisi orde pertama (*first order*) dan kedua (*second order*) untuk mendapatkan karakteristik sistem respon dan performa dari sistem tersebut.

3.2. Identifikasi Masalah

Pengidentifikasian masalah pada penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana karakteristik *transient response* (*time constant*, *overshoot*, *damping ratio*) dari rangkaian sistem dan performa sistem kontroler pneumatis dengan pengujian sinyal (*step*, *ramp*, dan *sinusoidal response*) standar pada teori orde pertama (*first order*) dan kedua (*second order*) menggunakan instrumen feedback tipe PCM140.

3.3. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari teori teori yang dapat menunjang permasalahan yang ada. Studi literatur didapatkan dari beberapa sumber seperti buku dan modul, jurnal penelitian, penelitian tugas akhir, dan internet. Pada penelitian ini studi literatur tersebut mengacu pada sistem kontrol pneumatis dan lebih mengacu pada modul feedback teaching mechanism tipe PCM140.

3.4. Persiapan Alat

Pada tahap ini dilakukan persiapan peralatan yang dibutuhkan untuk melakukan eksperimen. Termasuk juga melakukan pengecekan terhadap peralatan seperti kondisi dari komponen yang akan digunakan, berikut ini adalah spesifikasi dari peralatan.

Supplies

Air	20-150 psi	1,25 cfm
Electrical	200/250 volt single phase	50 Hz
	100/125 volt single phase	60 Hz

Belt

Fenner No. S142

Potentiometer Voltage Supply Unit

Feedback type 140

Pressure Regulator and Filter Unit

- 1 – Stop valve ¼ BSP, Norgen 10 x 1000C
- 1 – Special air purifier, Norgen F41-200MOTB
- 1 – Precision pressure regulator (0-31 psi) ¼ BSP Norgen 11, 400-2G
- 1 – Pressure gauge, Norgen

Servo

Piston diameter	1,5 in
Piston rod diameter	0,25 in
Upstream orifice	0,041 in diameter
Downstream nozzle	0,060 in diameter
Effective mass of inertia load	450 lb
Quiescent cylinder pressure	10 psi

Restrictor Unit

Shell oil tellus 27, or esso nuto H44

Recorder

Papper National cash register

Type AM6 x 3.½" diameter

Pens Platignum ball point by

Mentmore manufacturing co.

Ref. 501 (red)

Ref. 502 (blue)

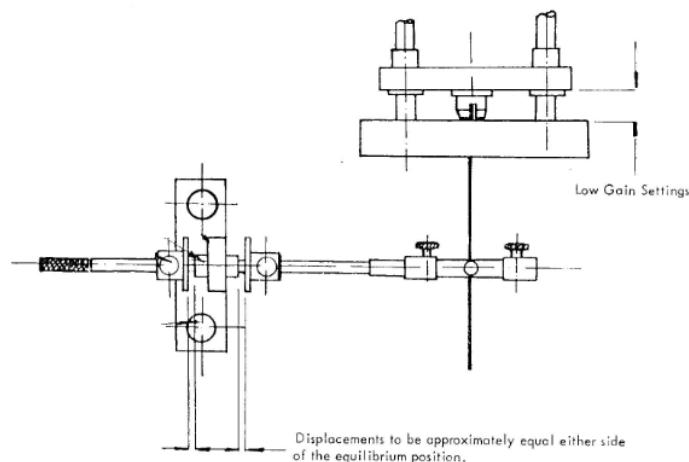
3.5. Set Up Peralatan

Setelah mempersiapkan peralatan yang dibutuhkan kemudian merangkai peralatan tersebut dan melakukan pengetesan untuk mengetahui apakah sistem tersebut berfungsi dengan normal atau mengalami gangguan. Prosedur melakukan set up mengacu pada modul feedback tipe PCM140.

Kondisi normal tidak bergerak dari mekanisme ini harus ada tekanan sebesar 10 psi pada salah satu sisi jack, dengan flapper blade ditengah. Kondisi ini diperoleh dengan putaran servo tertutup pada pencapaian mendekati minimum, dan di set up seperti persamaan orde pertama (*First Order*).

Set up suplai udara pada 20 psi dan dengan sistem persamaan susunan pertama, posisi input ditengah. Catat pressure pada silinder melalui pressure gauge yang disediakan. Kurangi kekencangan locknuts. Jika pressure terlalu tinggi putar bagian kanan nozzle out, dan jika pressure terlalu rendah putar bagian nozzle in. Cek posisi blade dari flapper, harus berada pada posisi vertikal pada keadaan tidak bergerak. Jika blade bengkok, kedua nozzle harus di setel sehingga keadaan blade normal, sampai posisi blade kembali ditengah.

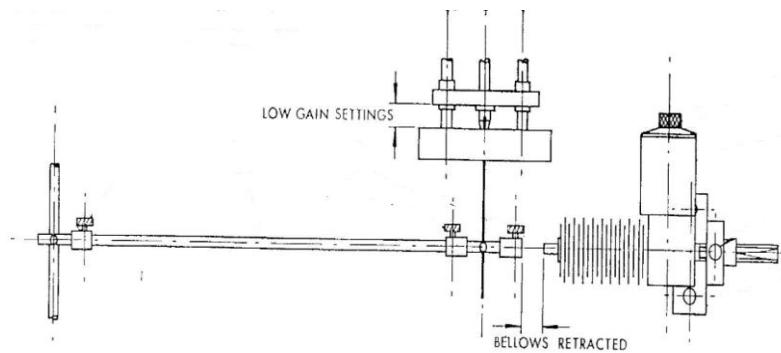
Pastikan tidak ada pressure yang berubah, kemudian nozzle dapat dikencangkan. Jika sistem menjadi tidak simetris atau sulit untuk balance, maka lepas orifices dan bersihkan (lihat modul bagian maintenance, section H)



Gambar 3.2.A. Rangkaian First order – Open Loop
(sumber : modul feedback PCM140)



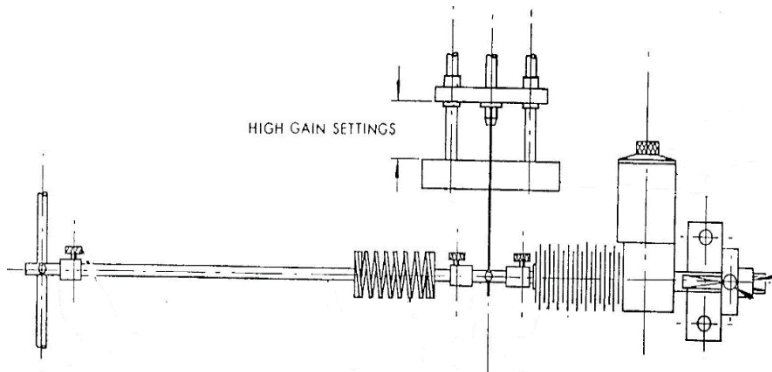
Gambar 3.2.B. Foto Rangkaian First order – Open Loop



Gambar 3.3.A. Rangkaian First order – Closed Loop
(sumber : modul feedback PCM140)



Gambar 3.3.B. Foto Rangkaian First order – Closed Loop



Gambar 3.4.A. Rangkaian Second order
(sumber : modul feedback PCM140)



Gambar 3.4.B. Foto Rangkaian Second order

3.6. Uji Eksperimen

Pengujian yang akan dilakukan adalah dengan melakukan pengamatan serta pengambilan data menggunakan instrumen feedback tipe PCM140 berdasarkan teori orde pertama (first order), dan teori orde kedua (second order). Kemudian data yang sudah diamati tersebut akan dihitung dan kemudian akan di analisa untuk mengetahui bagaimana karakteristik dari sistem tersebut serta apakah respon dari sistem tersebut dapat dikatakan baik atau tidak berdasarkan pengujian menggunakan sinyal standar.

3.7. Analisa dan Pembahasan

Pada penelitian ini analisa data yang dilakukan adalah mengamati kondisi operasional dari sistem kontrol pneumatis menggunakan instrumen feedback tipe PCM140. kemudian melakukan analisa dari hasil perhitungan untuk mendapatkan performa dari sistem, setelah itu melakukan running simulasi dari sistem tersebut menggunakan software MATLAB.

3.8. Kesimpulan dan Saran

Setelah semua tahapan dilakukan, maka selanjutnya adalah menarik kesimpulan analisa data dan percobaan. Diharapkan nantinya hasil kesimpulan dapat menjawab permasalahan yang menjadi tujuan skripsi ini. Selain itu diperlukan saran berdasarkan hasil penelitian untuk perbaikan dan juga untuk penelitian berikutnya yang mungkin dilakukan.

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan pengamatan, pada bab ini akan dilakukan perhitungan dan akan ditampilkan dalam bentuk grafik kemudian dilakukan analisa. Dari hasil pengamatan serta perhitungan akan didapatkan suatu nilai yang menunjukkan karakteristik dari sistem yang diamati, bagaimana respon transienya dan bagaimana performa dari sistem tersebut berdasarkan pengujian sinyal standar, apakah dapat dikatakan baik atau tidak.

4.1. Pengambilan Data

Pengambilan data pada penelitian ini dibagi menjadi tiga tahap, yaitu pada tahap pertama menggunakan rangkaian terbuka (*open loop*) untuk teori sistem orde pertama (*first order theory*). Tahap kedua menggunakan rangkaian tertutup (*closed loop*) untuk teori sistem orde pertama (*first order theory*). Kemudian tahap ketiga menggunakan teori sistem orde kedua (*second order theory*).

4.1.1. First Order – Open Loop

Tabel 4.1. Data hasil pengamatan *open loop test first order*.

No.	Pressure (psi)	t1 (detik)	t2 (detik)	a1 (mm)	a2 (mm)	x1 (mm)	x2 (mm)
1	6	1,02	1,20	41,00	71,00	5,25	5,25
2	8	0,92	0,94	39,00	71,00	5,25	5,25
3	10	0,71	0,82	37,00	71,00	5,25	5,25
4	12	0,66	0,80	41,50	71,00	5,25	5,25

Tabel diatas menunjukkan hasil pengamatan terhadap respon waktu untuk rangkaian terbuka pada sistem orde pertama, pengambilan data dilakukan berulang ulang sampai didapatkan respon waktu yang signifikan, yaitu semakin besar tekanan yang diberikan pada sistem, waktunya juga akan semakin cepat.

4.1.2. First Order – Closed Loop

Tabel 4.2. Data pengamatan *closed loop test first order*.

No.	Pressure (psi)	x (mm)	Y (mm)	t (detik)	b (mm)	L (mm)	θi (mm)	θo (mm)
1	6	8,00	6,80	2,78	4,00	20,50	12,00	10,00
2	8	10,20	8,20	2,48	4,50	21,00	12,00	13,50
3	10	14,40	11,00	2,23	5,00	21,00	12,00	14,50
4	12	15,40	11,40	2,16	5,00	20,50	12,00	15,00

Tabel diatas menunjukkan hasil pengamatan terhadap respon waktu, pergerakan flapper, dan juga gelombang yang tercetak pada recorder. Pengambilan data dilakukan berulang ulang sampai didapatkan hasil yang signifikan, yaitu berdasarkan respon waktu dan gelombang output yang dihasilkan.

4.1.3.. Second Order

Tabel 4.3. Data pengamatan *second order*.

No.	Pressure (psi)	f	x (mm)	b (mm)	L (mm)	θ_i (mm)	θ_o (mm)	S1 (mm)	S2 (mm)	t (detik)
1	8	1	6	5	22	11,75	8	0,40	0,24	3,23
2	8	6	7	5	21,5	12	8,25	1,58	1,71	2,95
3	8	12	8	5,5	22,5	11,75	11,5	3,00	4,80	2,76
4	10	1	3	4,5	22	11,5	11,5	0,19	0,30	2,47
5	10	6	4	5	23,5	9,75	7,5	1,04	4,00	2,72
6	10	12	4	5	21	11,75	10,5	2,00	12,0	2,81
7	12	1	3	4,5	22	11,25	12,5	0,19	0,67	2,32
8	12	6	4	5	21,5	9,5	8,5	1,09	6,00	2,59
9	12	12	3	4	21	11,5	20	2,00	12,0	2,92

Tabel diatas menunjukkan hasil pengamatan pada sistem orde kedua dengan rangkaian tertutup. Berdasarkan rangkaian pada modul, sistem orde kedua tidak memiliki rangkaian terbuka (*open loop*). Pengambilan data dilakukan berulang ulang untuk mendapatkan respon waktu dan bentuk gelombang yang sesuai terhadap variasi peredaman yang diberikan. Namun setelah beberapa kali melakukan percobaan tetap didapatkan hasil yang kurang bagus. Hal ini mungkin disebabkan akibat fungsi kerja peredam yang belum optimal.

4.2. Perhitungan

4.2.1. First Order

Open Loop

Data percobaan pada tes putaran terbuka (*open loop test*) digunakan untuk menghitung nilai konstanta penggabungan (*integration constant*).

Berikut ini adalah detail perhitungan menggunakan data pada variasi tekanan 10 psi :

$$\begin{aligned} \left(\frac{a_1}{t_1} + \frac{a_2}{t_2} \right) &= \frac{K}{G} (x_1 + x_2) \\ \left(\frac{37}{0,71} + \frac{71}{0,82} \right) &= \frac{K}{G} (5,25 + 5,25) \\ 99,3627 &= \frac{K}{G} (10,5) \\ \frac{K}{G} &= \frac{99,3627}{10,5} = 13,2093 \end{aligned}$$

Closed Loop

Setelah mendapatkan nilai konstanta $\frac{K}{G}$, maka nilai K untuk *gain setting* dapat dicari.

$$G = \frac{x}{Y}$$

$$G = \frac{14,4}{11} = 1,309$$

$$\frac{K}{G} = 13,2093$$

$$\frac{K}{1,309} = 13,2093$$

$$K = 1,309 \times 13,2093 = 17,292$$

Kemudian menghitung nilai waktu konstan (T). Dimana :

$$T = \frac{2G}{K} = \frac{2 \times 1,309}{17,292} = 0,151$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama seperti diatas untuk setiap variasi tekanan yang ada maka didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut.

Integrator constant

Tabel 4.4. Hasil perhitungan *integrator constant*.

Pressure (Psi)	K/G	G	K	T
6	9,4631	1,176	11,133	0,211
8	11,2308	1,244	13,970	0,178
10	13,2093	1,309	17,292	0,151
12	14,4408	1,351	19,508	0,138

Setelah nilai T didapat, selanjutnya mencari nilai A1 dengan menggunakan persamaan :

$$\frac{\theta_o}{\theta_i} = \frac{1}{1 + TD}$$

Dengan menggunakan fungsi dari *time domain analysis*, maka persamaan tersebut perlu dirubah menjadi *transfer function* yang nantinya akan dirubah menggunakan *laplace transform*, sehingga :

$$\frac{\theta_o}{\theta_i} = \frac{1}{1 + TD} \rightarrow \theta_o = \frac{\theta_i}{1 + TD}$$

Untuk memenuhi bentuk *laplace transform*, persamaan tersebut dirubah dengan cara membagi dengan nilai T, sehingga :

$$\theta_o = \frac{\frac{\theta_i}{T}}{\frac{1}{T} + D} = \frac{\theta_i}{T} \left(\frac{1}{\left(D + \frac{1}{T}\right)} \right)$$

Laplace transform :

$$\frac{1}{(s + a)} = e^{-at}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned}\theta_o &= \frac{\theta_i}{T} \left(\frac{1}{D + \frac{1}{T}} \right) = \frac{\theta_i}{T} \left(\frac{1}{(D + a)} \right) \\ \theta_o &= \frac{\theta_i}{T} e^{-at} \\ \theta_o &= \frac{\theta_i}{T} e^{-t/T}\end{aligned}$$

Penulisan pada modul feedback : $\theta_o = A1e^{-t/T}$, sehingga :

$$\begin{aligned}A1 &= \frac{\theta_i}{T} \\ A1 &= \frac{12}{0,151} = 79,256\end{aligned}$$

Selanjutnya, menghitung nilai step input (H_i)

$$\begin{aligned}\theta_o &= H_i + A1e^{-t/T} \\ H_i &= \theta_o - A1 \cdot e^{-t/T} \\ H_i &= 14,5 - (79,256 \times 4,01358 \cdot 10^{-7}) = 14,499\end{aligned}$$

Berdasarkan teori, nilai H_i untuk kondisi awal pada waktu konstan (T) adalah sebesar 63,2% dari H_i . Sehingga :

$$0,632 H_i = 9,164$$

Untuk membuktikan nilai step pada kondisi awal (*initial condition*) sama dengan nol pada saat $t = 0$, dan $\theta_o = 0$, dapat menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned}\theta_o &= H_i(1 - e^{-t/T}) \\ H_i &= \frac{\theta_o}{(1 - e^{-t/T})} = \frac{0}{(1 - e^{-t/T})} = 0\end{aligned}$$

Hubungan nilai step input terhadap kondisi awal dapat dilihat pada Gambar 2.3.

Dengan menggunakan perhitungan yang sama seperti diatas untuk setiap variasi tekanan yang ada maka didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut.

Step input

Tabel 4.5. Hasil perhitungan nilai *step input*.

Pressure (Psi)	$e^{-t/T}$	A1	Hi	63% Hi
6	0,00000193823	56,779	10,000	6,320
8	0,00000089524	67,385	13,500	8,532
10	0,00000040136	79,256	14,500	9,164
12	0,00000016854	86,645	15,000	9,480

Selanjutnya, menghitung nilai ramp input (Ω)

Untuk kecepatan konstan, dengan menggunakan persamaan :

$$\theta_o = \Omega(t - T) + A_1 e^{-t/T}$$

$$\Omega = \frac{\theta_o - A_1 e^{-t/T}}{(t - T)}$$

$$\Omega = \frac{14,5 - 79,256 \times 4,01358 \cdot 10^{-7}}{(2,23 - 0,151)} = 6,98$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama seperti diatas untuk setiap variasi tekanan yang ada maka didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut.

Ramp input

Tabel 4.6. Hasil perhitungan nilai *ramp input*.

Pressure (Psi)	t-T	Ω	Ωt	ΩT
6	2,57	3,89	10,82	0,823
8	2,30	5,86	14,54	1,044
10	2,08	6,98	15,56	1,056
12	2,02	7,42	16,03	1,028

Kemudian menghitung respon frekuensi untuk sinusoidal input

$$\text{Amplitudo ratio} = \frac{\theta_o}{\theta_i}$$

$$= \frac{14,5}{12} = 1,208$$

$$\text{Phase lag} = \phi = \left(\frac{b}{L}\right) \times 360$$

$$= 5/21 \times 360 = 85,7143$$

$$\begin{aligned}
 \tan \phi &= \omega \times T \\
 \tan 85,7143 &= \omega \times 0,151 \\
 13,3441 &= \omega \times 0,151 \\
 \omega &= \frac{13,3441}{0,151} \\
 \omega &= 88,133
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama seperti diatas untuk setiap variasi tekanan yang ada maka didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut.

Sinusoidal input

Tabel 4.7. Hasi perhitungan nilai respon frekuensi dan sinusoidal

Pressure (Psi)	Amplitudo Ratio	ϕ	$\tan \phi$	T	ω
6	0,833	70,2439	2,78429	0,211	13,174
8	1,125	77,1429	4,3813	0,178	24,603
10	1,208	85,7143	13,3441	0,151	88,133
12	1,250	87,8049	26,08889	0,138	188,373

4.2.2. *Second Order*

Transient response

Sama halnya dengan susunan pertama (*first order*), open loop transfer function juga digunakan untuk mendapatkan nilai konstanta (K_1)

Open loop transfer function :

$$\frac{NK}{2G} \frac{1}{D(1 + T1D)} = \frac{K1}{D(1 + T1D)} \quad \text{sehingga : } K1 = \frac{NK}{2G}$$

Dimana :

$$N = \frac{S1}{S1 + S2}$$

S1 dan S2 merupakan nilai konstanta dari pegas pada sisi bagian kiri dan kanan flapper (lihat Gambar 2.7)

Untuk mencari nilai S1 dan S2 menggunakan rumus $f = k.x$ sama dengan $f = S1.x$

$$S1, S2 = \frac{f}{x}$$

Sehingga : (perhitungan berikut untuk variasi $f = 6$)

$$S1 = \frac{6}{5,75} = 1,04, \text{ dan } S2 = \frac{6}{1,5} = 4$$

$$N = \frac{S1}{S1 + S2}$$

$$N = \frac{1,04}{1,04 + 4} = 0,207$$

Setelah mendapatkan nilai N , maka nilai K_1 dapat dihitung :

$$K1 = \frac{0,207 \times 17,292}{2 \times 1,309} = 2,342$$

Berikutnya, menghitung kesetimbangan gaya pada rangkaian flapper (lihat Gambar 2.7)

$$x/z = \frac{S1}{[S1 + S2]} \frac{1}{[1 + T1D]}$$

dimana :

$$T1 = \frac{f}{S1 + S2} = \frac{6}{1,04 + 4} = 1,19$$

$$z = \frac{x}{\left(\frac{S1}{[S1 + S2]} \frac{1}{[1 + T1D]} \right)} = \frac{x}{N \left(\frac{1}{[1 + T1D]} \right)}$$

$$z = \frac{x}{N \left(\frac{1}{[1 + T1D]} \right)} = \frac{x}{0,207 \left(\frac{1}{[1 + 1,19D]} \right)} = 42,33$$

Setelah itu menghitung nilai frekuensi natural (*natural frequency*) untuk menentukan seberapa besar rasio peredaman (*damping ratio*) dari sistem tersebut.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K1}{T1}} = \sqrt{\frac{2,342}{1,19}} = 1,669$$

$$\zeta = \frac{1}{2\sqrt{K1 \cdot T1}} = \frac{1}{2\sqrt{2,342 \times 1,19}} = 0,3$$

Nilai dari rasio peredaman ini akan digunakan untuk menentukan apa kategori peredaman dari sistem tersebut (lihat Gambar 2.10).

Dengan menggunakan perhitungan yang sama seperti diatas untuk setiap variasi tekanan yang ada maka didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut.

Tabel 4.8. Hasil perhitungan frekuensi natural dan rasio peredaman.

Pressure (psi)	f	N	T1	K1	ω_n	ζ	ζ^2	z
8	1	0,627	1,567	3,520	2,349	0,213	0,045	0,627
8	6	0,479	1,822	4,166	2,755	0,181	0,033	0,479
8	12	0,385	1,538	3,342	2,267	0,221	0,049	0,385
10	1	0,379	2,048	4,293	2,965	0,169	0,028	0,379
10	6	0,207	1,190	2,342	1,669	0,300	0,090	0,207
10	12	0,143	0,857	1,617	1,177	0,425	0,180	0,143
12	1	0,221	1,169	2,907	1,843	0,271	0,074	0,221
12	6	0,154	0,846	2,027	1,310	0,382	0,146	0,154
12	12	0,143	0,857	1,882	1,270	0,394	0,155	0,143

Closed loopStep input

Berdasarkan hasil perhitungan rasio peredaman di atas, sistem ini termasuk kedalam kategori *underdamped* sehingga, perhitungan respon step menggunakan persamaan :

$$\theta_o = H_i \left[1 - e^{-\zeta \omega_n t} \left[\cos(\sqrt{\zeta^2 - 1}) \omega_n t + \frac{\zeta}{\sqrt{1 - \zeta^2}} \sin(\sqrt{\zeta^2 - 1}) \omega_n t \right] \right]$$

$$H_i = \frac{\theta_o}{\left[1 - e^{-\zeta \omega_n t} \left[\cos(\sqrt{\zeta^2 - 1}) \omega_n t + \frac{\zeta}{\sqrt{1 - \zeta^2}} \sin(\sqrt{\zeta^2 - 1}) \omega_n t \right] \right]}$$

$$= \frac{7,5}{\left[1 - e^{-0,3 \times 1,67 \times 2,72} \left[\cos(\sqrt{0,09 - 1}) 1,67 \times 2,72 + \frac{0,3}{\sqrt{1 - 0,09}} \sin(\sqrt{0,09 - 1}) 1,67 \times 2,72 \right] \right]}$$

$$H_i = \frac{7,5}{1,0874} = 6,897$$

Besarnya nilai overshoot pertama pada sistem adalah :

$$\text{Overshoot (\%)} = e^{\frac{-\pi \zeta}{\sqrt{1 - \zeta^2}}} = e^{\frac{-3,14 \times 0,3}{\sqrt{1 - 0,09}}} = 0,373\%$$

Nilai overshoot yang diizinkan adalah 0 sampai 10%, sehingga berdasarkan perhitungan diatas overshoot pada sistem masih termasuk dalam kategori diizinkan.

Dengan menggunakan perhitungan yang sama seperti diatas untuk setiap variasi tekanan yang ada maka didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut.

Tabel 4.9. Hasil perhitungan nilai step dan overshoot pada *second order*

Pressure (psi)	f	ω_n	ζ	ζ^2	Step (Hi)	overshoot (%)
8	1	2,349	0,213	0,045	3,4744	0,505
8	6	2,755	0,181	0,033	3,2859	0,560
8	12	2,267	0,221	0,049	6,5708	0,492
10	1	2,965	0,169	0,028	5,4039	0,584
10	6	1,669	0,300	0,090	6,8971	0,373
10	12	1,177	0,425	0,180	16,9326	0,229
12	1	1,843	0,271	0,074	12,5146	0,413
12	6	1,310	0,382	0,146	12,6536	0,273
12	12	1,270	0,394	0,155	26,4124	0,261

Ramp input

Dikarenakan karakteristik dari rangkaian susunan kedua (*second order*) maka terjadi ketidaksesuaian aliran pada respon ramp, hal ini menyebabkan terjadi keterlambatan output dibelakang input.

Besarnya ketidak sesuaian dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\theta_o = \Omega \left(t - \frac{2\zeta}{\omega_n} + e^{-\zeta\omega_n t} \cdot \frac{2\zeta\Omega}{\omega_n} \cos[(\sqrt{1-\zeta^2})\omega_n t] + \frac{2\zeta^2 - 1}{2\zeta\sqrt{1-\zeta^2}} \sin(\sqrt{1-\zeta^2})\omega_n t \right)$$

untuk menyelesaikan persamaan diatas, diperlukan nilai untuk mencari determinan ramp (Ω) dengan merubah persamaan tersebut menjadi akar persamaan kuadrat sebagai berikut :

$$\Omega = \frac{\theta_o}{\left(t - \frac{2\zeta}{\omega_n} + e^{-\zeta\omega_n t} \cdot \frac{2\zeta\Omega}{\omega_n} \cos[(\sqrt{1-\zeta^2})\omega_n t] + \frac{2\zeta^2 - 1}{2\zeta\sqrt{1-\zeta^2}} \sin(\sqrt{1-\zeta^2})\omega_n t \right)}$$

$$\Omega = \frac{\theta_o}{A + B * X * C}$$

$$A = t - \frac{2\zeta}{\omega_n} = 2,72 - 2 * \frac{0,3}{1,669} = 2,36$$

$$B = e^{-\zeta\omega_n t} = e^{-0,3 * 1,669 * 2,72} = 0,256$$

$$C = \cos \left[(\sqrt{1-\zeta^2})\omega_n t + \frac{2\zeta^2 - 1}{2\zeta\sqrt{1-\zeta^2}} \sin(\sqrt{1-\zeta^2})\omega_n t \right]$$

$$= \cos[0,954 * 4,539 + (-1,435) * 0,8157 * 4,539] = 0,553$$

$$X = \frac{2\zeta\Omega}{\omega_n}$$

$$\Omega = \frac{\theta_0}{A + B * X * C} = \frac{7,5}{2,36 + 0,256 * \frac{0,6\Omega}{1,669} * 0,553}$$

$$1,669\Omega = \frac{7,5}{2,36 + 0,256 * 0,6\Omega * 0,553}$$

$$1,669\Omega (2,36 + 0,0818\Omega) = 7,5$$

$$3,938\Omega + 0,1365\Omega^2 = 7,5$$

$$0,142\Omega^2 + 3,94\Omega - 7,5 = 0 \dots \dots \dots (a^2 + b - c = 0)$$

$$\Omega_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$\begin{aligned}\Omega_1 &= \frac{-3,94 + \sqrt{3,94^2 - 4 * 0,142 * (-7,5)}}{2 * 0,142} \\ &= \frac{-3,94 + \sqrt{15,53 - (-4,257)}}{0,284} = 0,036\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Omega_2 &= \frac{-3,94 - \sqrt{3,94^2 - 4 * 0,142 * (-7,5)}}{2 * 0,142} \\ &= \frac{-3,94 - \sqrt{15,53 - (-4,257)}}{0,284} = -0,595\end{aligned}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama seperti diatas untuk setiap variasi tekanan yang ada maka didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut.

Tabel 4.10. Hasil perhitungan nilai ramp

Pressure (psi)	f	A	B	C	a	b	c	Ω_1	Ω_2
8	1	3,049	0,199	0,999	0,199	7,161	-8,000	0,043	-1,465
8	6	2,818	0,229	-0,959	-0,219	7,764	-8,250	0,053	1,651
8	12	2,565	0,252	0,057	0,014	5,817	-11,500	0,000	-0,083
10	1	2,356	0,291	-0,777	-0,226	6,987	-11,500	0,089	1,489
10	6	2,361	0,257	0,553	0,142	3,941	-7,500	0,036	-0,595
10	12	2,088	0,245	0,674	0,165	2,459	-10,500	0,095	-0,501
12	1	2,026	0,313	-0,045	-0,014	3,734	-12,500	0,001	0,052
12	6	2,007	0,274	0,914	0,250	2,629	-8,500	0,163	-0,821
12	12	2,300	0,232	0,827	0,192	2,922	-20,000	0,189	-0,750

Respon frekuensi untuk sinusoidal input

Menghitung phase lag :

$$\begin{aligned}\text{Phase lag} = \phi &= \left(\frac{b}{L}\right) \times 360 \\ &= \frac{5}{23,5} \times 360 = 76,595\end{aligned}$$

Setelah itu mencari nilai $\tan \phi$ agar dapat menghitung nilai sinusoidal input (ω)

$$\tan \phi = \frac{2\zeta\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}$$

$$\tan 76,595 = \frac{2 \times 0,3 \left(\frac{\omega}{1,669}\right)}{1 - \left(\frac{\omega}{1,669}\right)^2} = \frac{0,6 \times \left(\frac{\omega}{1,669}\right)}{1 - \left(\frac{\omega}{1,669}\right)^2}$$

$$4,196 \left(1 - \frac{\omega}{1,669}\right) = 0,6$$

$$4,196 - \frac{4,196\omega}{1,669} = 0,6$$

$$-4,196\omega = (0,6 \times 1,669) - 4,196$$

$$\omega = 0,762$$

Menghitung amplitudo ratio :

$$\frac{|\theta_o|}{|\theta_i|} = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + 4\zeta^2 \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}}$$

$$\frac{|\theta_o|}{|\theta_i|} = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{0,762}{1,669}\right)^2\right]^2 + 4 \times 0,3^2 \left(\frac{0,762}{1,669}\right)^2}} = 1,194$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama seperti diatas untuk setiap variasi tekanan yang ada maka didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut

Tabel 4.11. Hasil perhitungan amplitudo ratio dan phase lag

Pressure (psi)	f	ω_n	ζ	Amplitudo Ratio	ϕ	Tan ϕ	ω
8	1	2,349	0,213	1,135	81,8182	6,955153	0,856
8	6	2,755	0,181	1,107	83,7209	9,088324	0,890
8	12	2,267	0,221	1,190	88,0000	28,63625	0,965
10	1	2,965	0,169	1,056	73,6364	3,405687	0,706
10	6	1,669	0,300	1,194	76,5957	4,196178	0,762
10	12	1,177	0,425	1,300	85,7143	13,34407	0,925
12	1	1,843	0,271	1,139	73,6364	3,405687	0,706
12	6	1,310	0,382	1,338	83,7209	9,088324	0,890
12	12	1,270	0,394	1,165	68,5714	2,547958	0,608

4.3. Analisa Grafik

Setelah melakukan pengamatan dan perhitungan, data tersebut dibuat dalam bentuk grafik untuk mempermudah melakukan analisa.

4.3.1. First Order

Grafik sinyal step input

Fungsi sinyal uji step merupakan fungsi yang berguna untuk menguji respon sistem terhadap gangguan yang muncul tiba – tiba, dan melihat kemampuan sistem kontrol dalam memposisikan respon.

Grafik sinyal step menunjukkan kondisi dari sistem tersebut terhadap gangguan yang muncul secara tiba – tiba. Dalam hal ini, sistem dalam keadaan diam, lalu kemudian diberi gangguan berupa gaya untuk menggerakkan flapper (inputan).

Berikut ini detail penjelasan grafik step untuk variasi tekanan pada 10 psi.

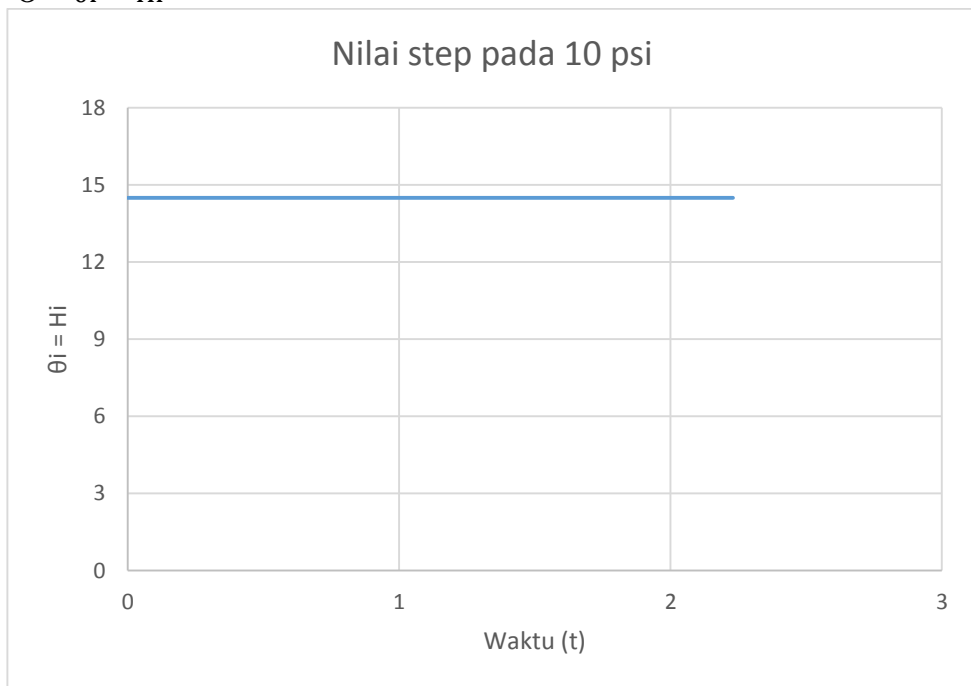
Grafik nilai step

Grafik nilai step menunjukkan seberapa besar nilai step pada waktu tertentu.

10 psi	
waktu (t)	Hi (mm)
0	14,500
2,230	14,500

$$t < 0 \quad \theta_i = 0$$

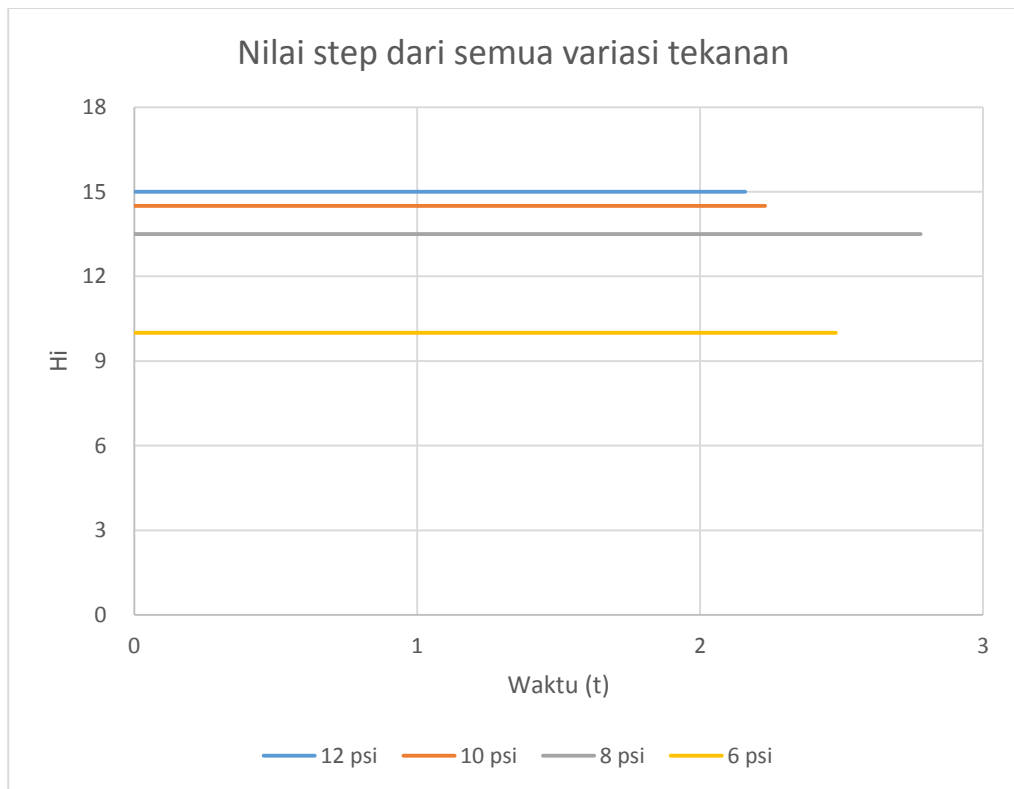
$$t > 0 \quad \theta_i = H_i$$



Grafik 4.1. Nilai step input pada 10 psi.

Grafik diatas memperlihatkan hubungan antara perbandingan input terhadap waktu untuk respon step. Nilai step input pada $t < 0$ (ketika belum ada respon) hingga $t > 0$ (ketika ada respon). Nilai step input sama besarnya dengan output sehingga seharusnya tidak ada perbedaan antara nilai output dengan nilai step (lihat Gambar 2.2). Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa nilai step sesuai dengan output pada hasil pengukuran aktual. Nilai step tidak berbanding lurus terhadap waktu respon namun bernilai konstan sehingga nilai step tidak dipengaruhi oleh berapa lama waktu respon tersebut. Nilai step sangat dipengaruhi oleh nilai K , semakin tinggi nilai K maka semakin besar juga nilai step yang dihasilkan. Sedangkan untuk nilai K sangat dipengaruhi oleh seberapa besar pergerakan flapper, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar tekanan yang diberikan pada sistem, flaper akan bergerak semakin jauh dan secara matematis hal ini mengakibatkan nilai K semakin besar, begitu juga dengan nilai step yang dihasilkan juga akan semakin besar.

Berikut ini tampilan grafik dari variasi tekanan secara keseluruhan.



Grafik 4.2. Nilai step input pada semua variasi tekanan.

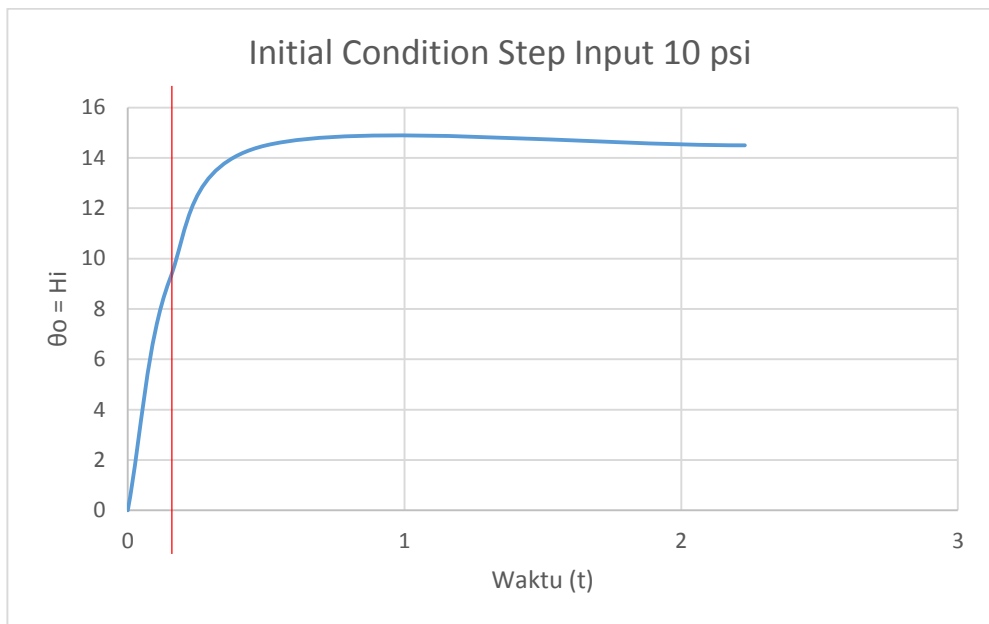
Grafik sinyal step pada setiap variasi tekanan secara keseluruhan menunjukkan karakteristik yang sama yaitu selalu bernilai konstan dan besarnya tidak dipengaruhi oleh peningkatan waktu (t) maupun waktu konstan (T). Hal ini sesuai dengan teori yaitu nilai step sama besar dengan output (lihat Gambar 2.2). Secara keseluruhan nilai step berbanding lurus terhadap tekanan, semakin besar tekanan yang diatur maka semakin besar pula output yang dihasilkan begitu juga dengan nilai stepnya. Namun terlihat ada perbedaan nilai yang cukup jauh antara variasi pada 6 psi dengan 8 psi, tidak seperti lainnya yang perbedaannya tidak terlalu jauh. Hal ini mungkin mungkin disebabkan oleh performa dari kondisi alat – alat pada instrumen feedback tipe PCM140 yang sudah cukup tua dan baru mulai beroperasi.

Grafik sinyal step pada kondisi awal (*initial condition*)

Grafik *initial condition* menunjukkan kondisi awal dari suatu sistem sejak mulai beroperasi, dalam grafik ini menunjukkan besarnya nilai step dari kondisi diam ($t = 0$) hingga waktu tertentu, dan sebelum mencapai kondisi stabil (*steady*), nilai step pada waktu konstan (T) berkisar 63,2% dari nilai step (lihat Gambar 2.3). Suatu sistem dikatakan bagus jika waktu konstan pada kondisi 63,2% step tidak melebihi 0,5 detik yang berarti respon sistem tersebut cepat.

Tabel 4.12. Tabel nilai step untuk kondisi awal

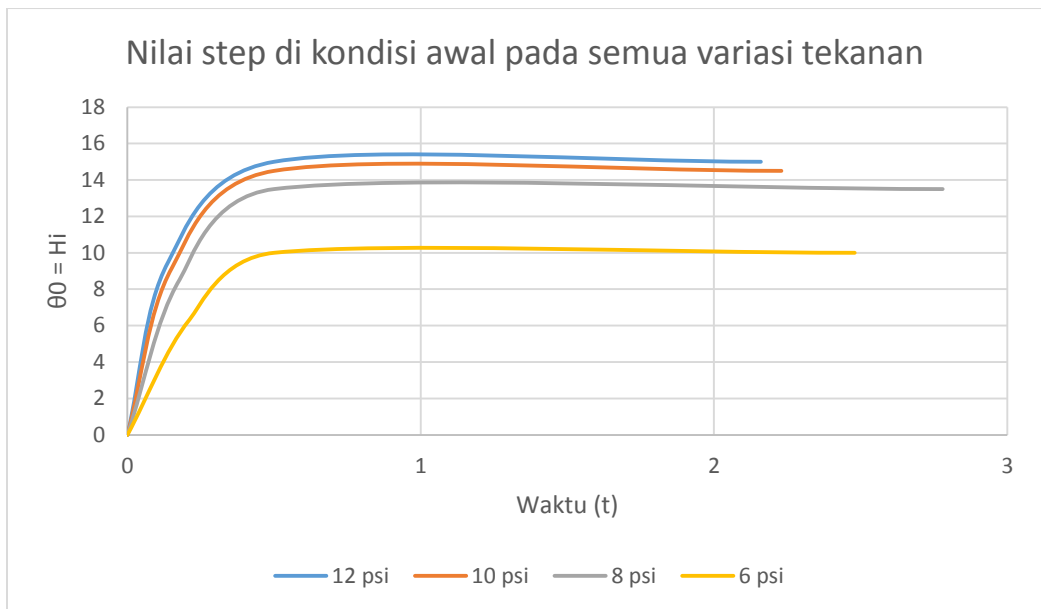
Hi	63,2% Hi	t_0 (detik)	T	t (detik)
10,000	6,320	0,00	0,211	2,48
13,500	8,532	0,00	0,178	2,78
14,500	9,164	0,00	0,151	2,23
15,000	9,480	0,00	0,138	2,16



Grafik 4.3. Nilai step input pada kondisi awal 10 psi.

Grafik diatas memperlihatkan perbandingan output sinyal step terhadap waktu dari sistem kontrol pneumatis. Pada saat $t = 0$, nilai step juga 0, dan pada saat t mencapai nilai step sebesar 63,2% waktu tersebut adalah waktu konstan (T) (garis merah). Kemudian akan naik secara perlahan sehingga mencapai nilai penuhnya dan memasuki kondisi *steady state* selama waktu tertentu (t). Hal ini sesuai dengan teori (lihat gambar 2.3). Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya, nilai T didapatkan sebesar 0,151 untuk variasi tekanan 10 psi. Hal ini berarti sistem tersebut masih dikatakan baik karena memiliki respon waktu yang cepat.

Berikut ini tampilan grafik dari variasi tekanan secara keseluruhan.

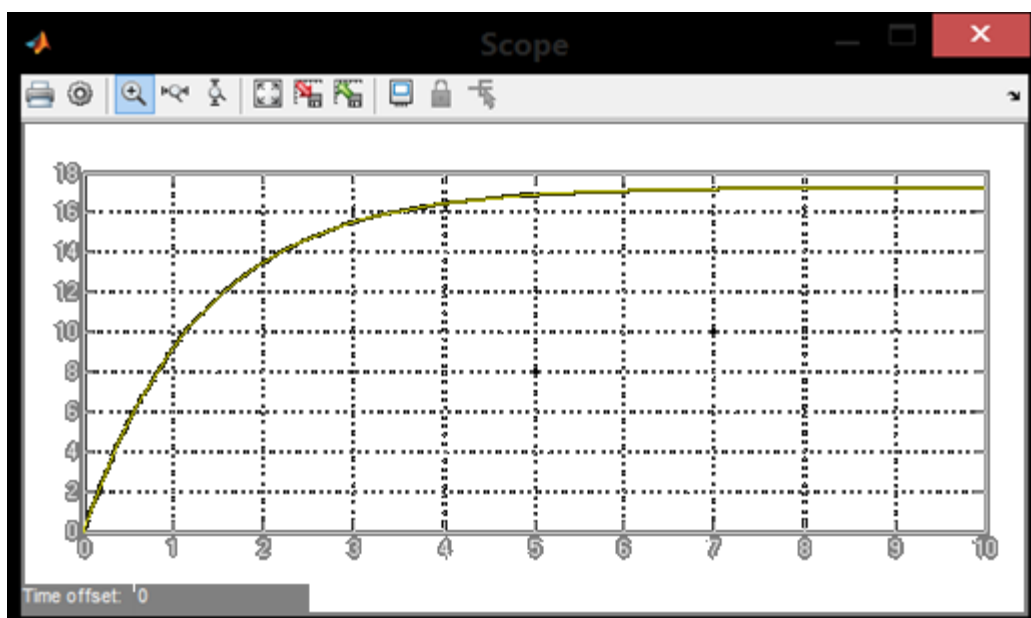


Grafik 4.4. Step input pada kondisi awal di semua variasi tekanan.

Grafik sinyal step untuk kondisi awal (*initial condition*) pada setiap variasi tekanan menunjukkan karakteristik yang sama sesuai dengan pada teori (lihat Gambar 2.3). Secara keseluruhan nilai step berbanding lurus terhadap tekanan, semakin besar tekanan yang diatur maka semakin besar pula output yang dihasilkan begitu juga dengan nilai stepnya. Namun terlihat ada perbedaan nilai yang cukup jauh antara variasi pada 6 psi dengan 8 psi, tidak seperti lainnya yang perbedaannya tidak terlalu jauh. Hal ini mungkin mungkin disebabkan oleh performa dari kondisi alat – alat pada instrumen feedback tipe PCM140 yang sudah cukup tua dan baru mulai beroperasi.

Dari analisa grafik nilai step dan nilai step pada kondisi awal untuk setiap variasi tekanan untuk rangkaian orde pertama (*first order*) dapat ditarik kesimpulan bahwa sistem tersebut masih dapat dikatakan baik karena pada semua percobaan di masing – masing variasi tekanan didapatkan nilai waktu konstan (T) yang cepat (tidak lebih dari 0,5 detik) yang berarti sistem tersebut masih memiliki respon pergerakan yang cepat.

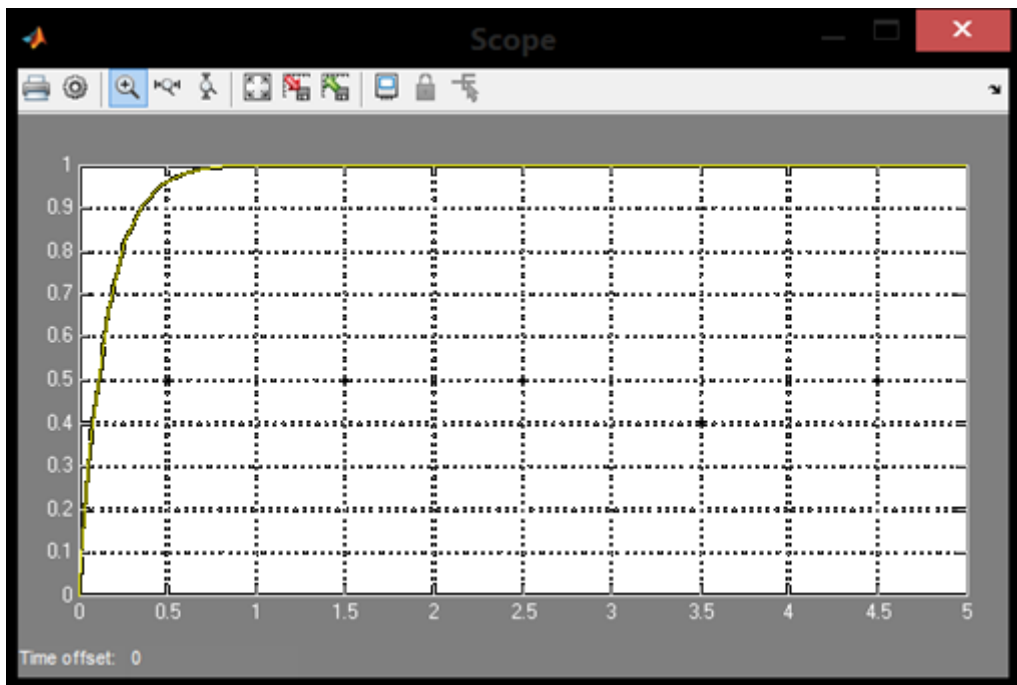
Simulasi step respon menggunakan MATLAB



Grafik 4.5. Sinyal step respon pada MATLAB – open loop

Grafik diatas merupakan hasil simulasi dari rangkaian terbuka (*open loop*) dari orde pertama (*first order*) yang disimulasikan menggunakan software MATLAB. Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya, diperoleh nilai step untuk variasi 10 psi yaitu sebesar 14,5 dan memasuki kondisi steady state dalam waktu 2,23 detik dengan waktu konstan selama 0,151 detik pada 63,2% nilai step (9,164). Hal ini sangat jauh dibandingkan dengan hasil simulasi pada MATLAB yang menunjukkan bahwa nilai step yang diperoleh dari sistem tersebut adalah sebesar ± 17 , dengan lama waktu transient respon selama 7 detik dan kemudian memasuki kondisi steady state nya. Begitu pula dengan waktu konstantnya yaitu selama ± 1 detik pada 63,2% nilai step (9,164). Dengan hasil simulasi diatas, kondisi respon sistem tersebut dapat dikatakan sangat buruk karena sistem tersebut memiliki waktu respon yang sangat lambat. Berdasarkan teori, sistem dapat dikatakan baik apabila nilai waktu konstan tidak melebihi 0,5 detik.

Perbedaan hasil simulasi yang sangat jauh ini terjadi pada rangkaian open loop, kemungkinan disebabkan oleh kurangnya akurasi dan juga pengaturan rangkaian atau ketidak telitian pada saat pengamatan. Dari berbagai sumber berupa buku dan jurnal dikatakan bahwa rangkaian open loop ***tidak pernah digunakan*** dalam kehidupan nyata dan hanya sebatas teori saja. Hal tersebut dikarenakan sulitnya pengaturan dari suatu sistem itu sendiri serta ketidak telitian dan eror yang sangat besar karena berapapun output yang dihasilkan tidak akan memberikan timbal balik (*feedback*) terhadap inputannya, sehingga eror tidak dapat dihindari.



Grafik 4.6. Sinyal step respon pada MATLAB – closed loop

Grafik diatas merupakan hasil simulasi dari rangkaian tertutup (*closed loop*) dari orde pertama (*first order*) yang disimulasikan menggunakan software MATLAB. Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya diperoleh nilai waktu konstant selama 0,151 detik pada 63,2% nilai step. Berdasarkan grafik diatas, pada nilai step 0,63 didapatkan nilai waktu konstan $\pm 0,1$ atau 0,2 detik, dan kemudian mencapai kondisi steady state pada detik ke 0,7. Hasil tersebut hampir sama dengan apa yang didapatkan dari perhitungan sebelumnya. Berdasarkan teori, setelah melewati waktu konstan, kondisi akan dicapai tergantung dari seberapa besar waktu konstan, yaitu 3 sampai dengan 4x dari waktu konstan, sehingga menurut perhitungan kondisi steady state akan tercapai setelah 0,64 detik sedangkan berdasarkan hasil simulasi diatas kondisi steady state dicapai pada detik ke 0,7. Hal ini sesuai dengan hasil perhitungan sebelumnya sekaligus dapat disimpulkan bahwa sistem tersebut dalam keadaan yang baik karena memiliki respon waktu yang cepat (kurang dari 0,5 detik).

Grafik sinyal ramp input

Fungsi sinyal uji ramp merupakan fungsi berubah – ubah terhadap waktu, dan berguna untuk melihat kemampuan sistem kontrol untuk melacak target yang bergerak dengan kecepatan konstan.

Grafik sinyal ramp menunjukkan kondisi dari aliran kecepatan pada sistem tersebut dari mulai kondisi diam ($t = 0$) sampai pada waktu tertentu (t).

Berikut ini detail penjelasan grafik ramp untuk variasi tekanan pada 10 psi.

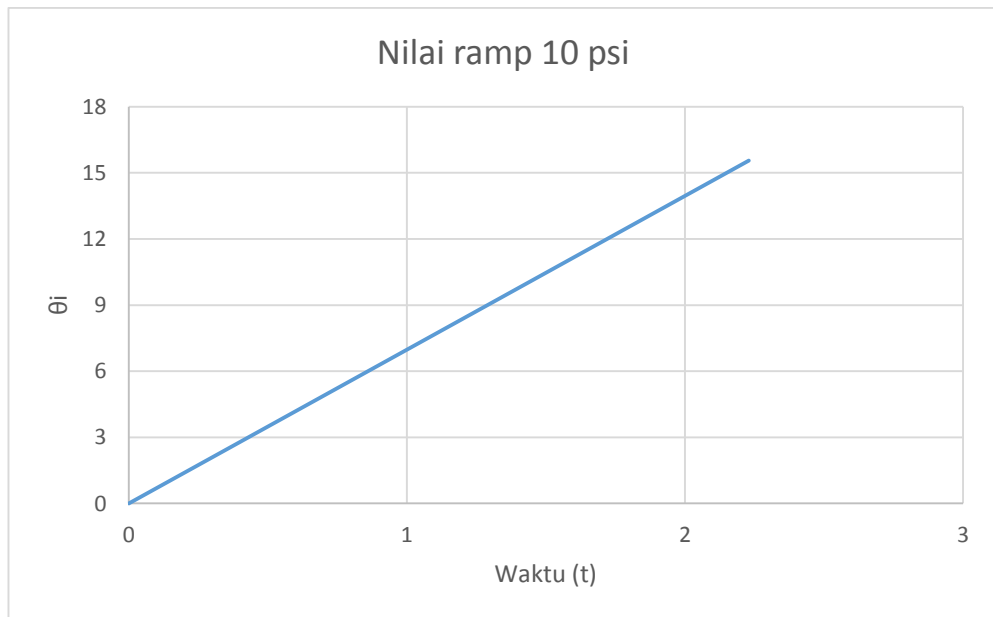
Grafik nilai ramp kecepatan konstan (*constant velocity*)

Grafik ini menunjukkan aliran kecepatan pada suatu sistem yang berlangsung konstan tanpa ada delay ataupun penambahan kecepatan.

10 psi	
waktu (t)	θ_i
0	0
2,230	15,556

$$t < 0 \quad \theta_i = 0$$

$$t > 0 \quad \theta_i = \Omega t$$



Grafik 4.7. Nilai ramp pada 10 psi.

Grafik diatas memperlihatkan hubungan perbandingan antara ramp input terhadap waktu yang berbanding lurus. Nilai input untuk kecepatan konstan sama besar dengan nilai ramp dan berbanding lurus terhadap waktu sehingga semakin bertambahnya waktu maka nilai inputnya juga akan semakin besar ($\theta_i = \Omega t$) lihat Gambar 2.4. Hal ini disebabkan karena sinyal fungsi ramp) terjadi pada kecepatan konstan dan sangat dipengaruhi oleh peningkatan waktu dari sistem itu sendiri. Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya, diperoleh nilai ramp yang berbanding lurus terhadap waktu sehingga dapat dikatakan sistem ini memiliki respon kecepatan yang konstan dan dapat dikatakan baik.

Berikut ini tampilan grafik dari variasi tekanan secara keseluruhan.



Grafik 4.8. Nilai ramp pada semua variasi tekanan.

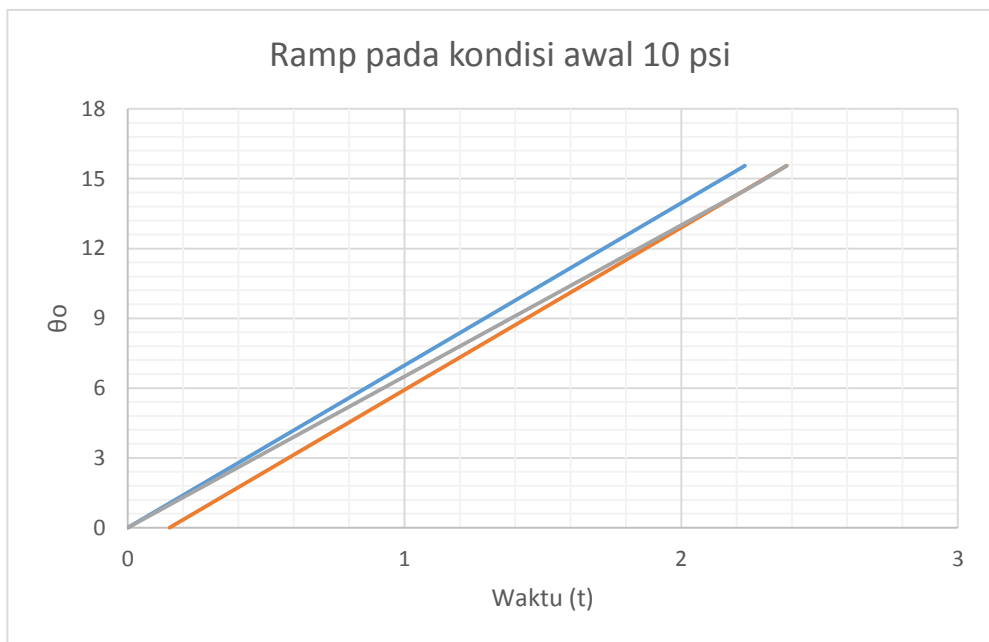
Secara keseluruhan, grafik diatas memperlihatkan hubungan antara ramp input terhadap waktu yang semuanya berbanding lurus. Nilai input untuk kecepatan konstan sama besar dengan nilai ramp dan berbanding lurus terhadap waktu sehingga semakin bertambahnya waktu maka nilai inputnya juga akan semakin besar ($\theta_i = \Omega t$) lihat Gambar 2.4. Hubungan antara ramp input terhadap variasi tekanan juga berbanding lurus, dimana semakin besar tekanan yang diberikan maka besarnya nilai ramp input juga semakin besar.

Grafik sinyal ramp pada kondisi awal

Pada kondisi awal, sistem memerlukan waktu untuk mencapai keadaan stabil atau konstan sebesar waktu konstan (T). Sehingga akan selalu timbul delay pada saat awal sistem bekerja, delay inilah yang menyebabkan output mengalami keterlambatan sekian detik dibelakang input sebesar ΩT , atau disebut juga dengan ketidak sesuaian aliran (*velocity misalignment*)

Tabel 4.13. Nilai ramp untuk kondisi awal

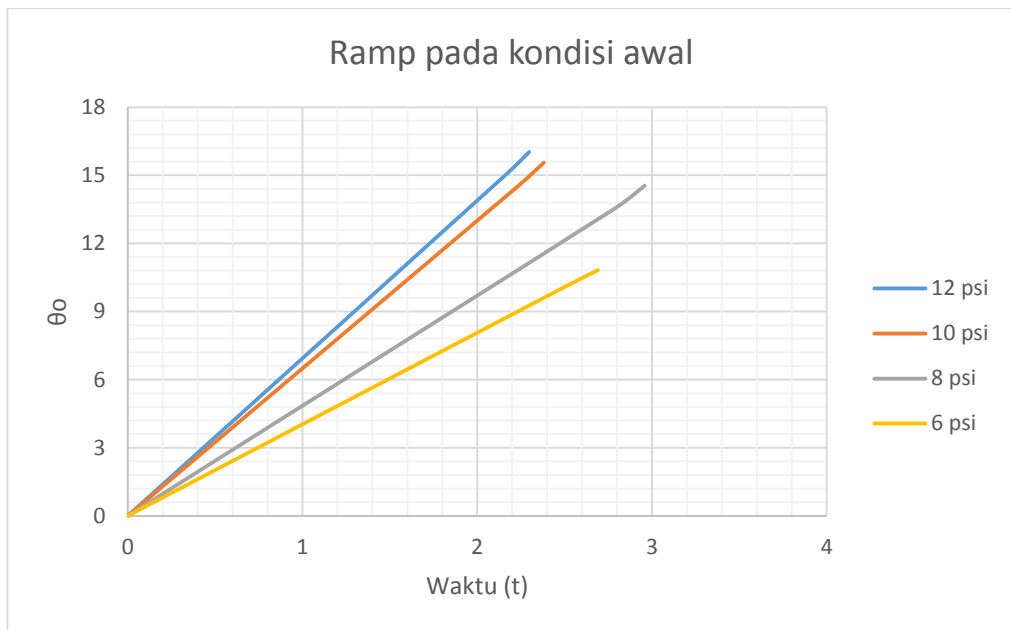
Ω	T	Ωt	ΩT
3,89	0,211	10,82	0,823
5,86	0,178	14,54	1,044
6,98	0,151	15,56	1,056
7,42	0,138	16,03	1,028



Grafik 4.9. Nilai ramp untuk kondisi awal pada 10 psi

Grafik diatas memperlihatkan hubungan perbandingan antara output terhadap waktu pada respon ramp. Grafik yang berwarna biru adalah nilai ramp, sedangkan garis yang berwarna orange merupakan nilai ramp pada kondisi konstan. Grafik yang berwarna abu-abu memperlihatkan perubahan kondisi dari pada saat $t = 0$ atau pada saat awal ketika sistem tersebut belum mulai beroperasi sampai akhirnya mencapai kondisi konstan. Dikarenakan adanya delay sebesar ΩT (1,056 detik) maka timbul ketidak sesuaian aliran atau *velocity misalignment*. Ketidak sesuaian aliran inilah yang menyebabkan adanya penambahan kecepatan (dari diam hingga konstan) dari pergerakan sistem. (lihat Gambar 2.5).

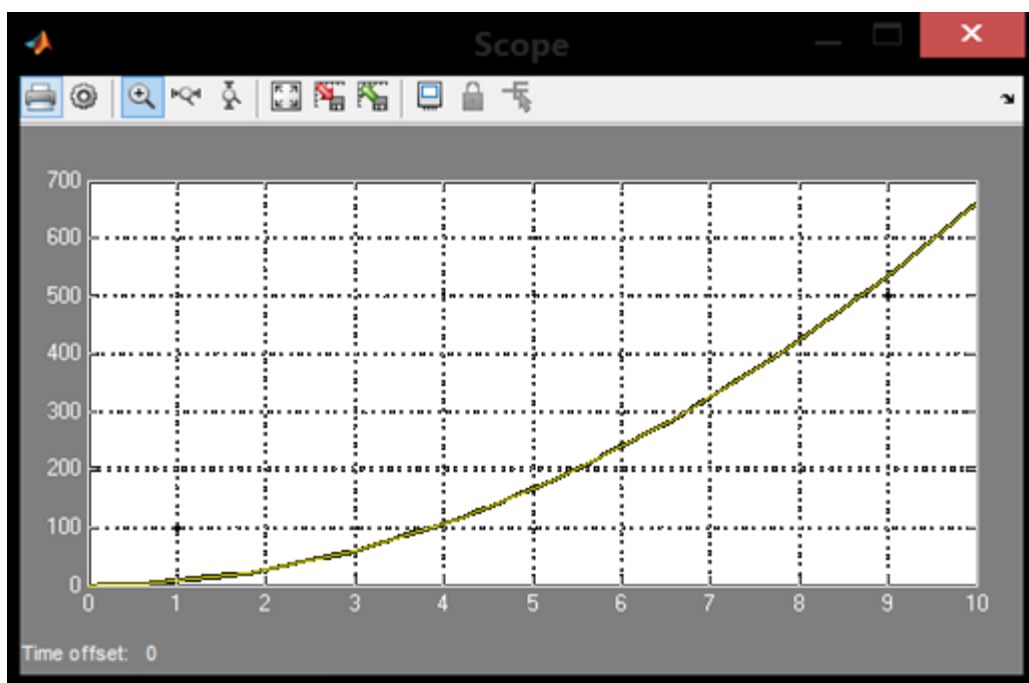
Berikut ini tampilan grafik dari variasi tekanan secara keseluruhan.



Grafik 4.10. Nilai ramp untuk kondisi awal pada pada semua variasi tekanan

Grafik diatas memperlihatkan hubungan perbandingan antara output terhadap waktu pada respon ramp pada semua variasi tekanan. Secara keseluruhan semua grafik berbanding lurus terhadap waktu, hal ini sesuai dengan teori karena nilai input pada ramp sangat dipengaruhi oleh waktu. Untuk kondisi awal, terjadi ketidak sesuaian aliran yang menyebabkan terjadinya delay pada output.

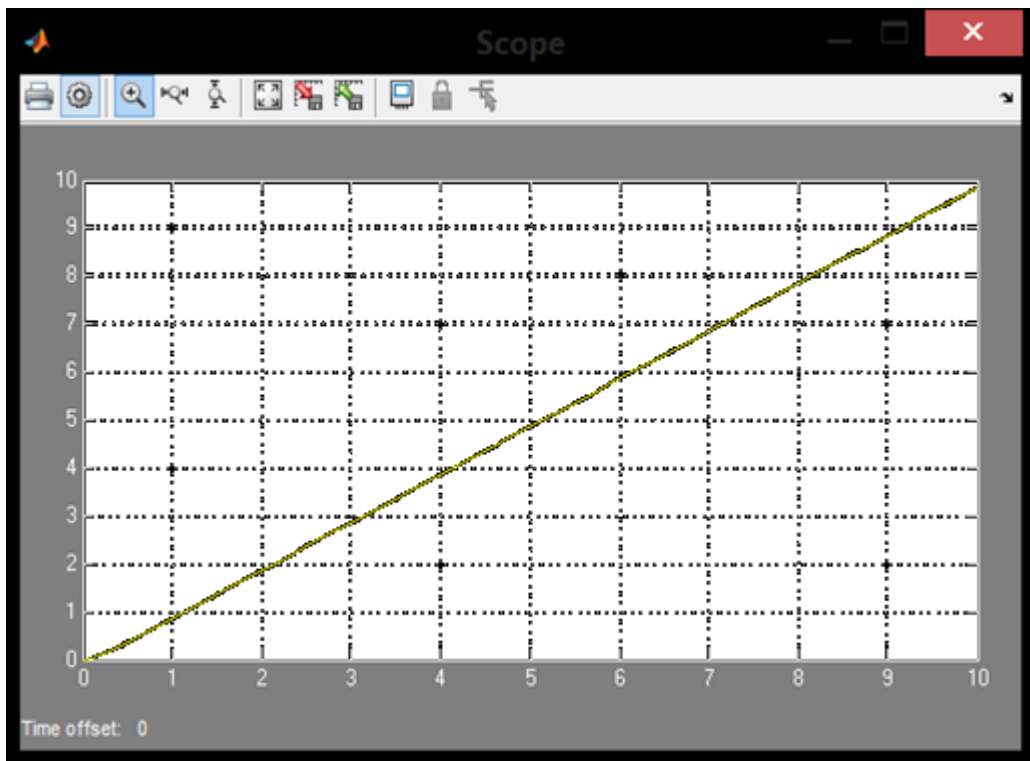
Simulasi ramp respon menggunakan MATLAB



Grafik 4.11. Sinyal ramp respon pada MATLAB – open loop

Grafik diatas merupakan hasil simulasi dari rangkaian terbuka (*open loop*) dari susunan pertama (*first order*) yang disimulasikan menggunakan software MATLAB. Terlihat pada grafik diatas bahwa nilai ramp berbanding lurus terhadap waktu dengan peningkatan kecepatan aliran (bentuk grafik melengkung). Hal ini sesuai dengan teori bahwa semakin lama pengoprasian dari sistem tersebut maka nilai ramp juga akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya waktu, bentuk grafik yang melengkung juga menunjukkan bahwa terjadi ketidak sesuaian aliran (*vilocity misalignment*) pada sistem yang mengakibatkan terjadinya delay pada outputnya. Namun ada keanehan pada grafik hasil simulasi di atas yaitu nilai ramp yang tidak sesuai dengan hitungan serta delay dan waktu konstan yang sangat besar sehingga sistem tersebut dapat dikatakan sangat buruk. Hal ini sangat berbeda dengan hasil perhitungan yang menunjukkan bahwa sistem dapat dikatakan baik.

Perbedaan hasil simulasi yang sangat jauh ini terjadi pada rangkaian open loop, kemungkinan disebabkan oleh kurangnya akurasi dan juga pengaturan rangkaian atau ketidak telitian pada saat pengamatan. Dari berbagai sumber berupa buku dan jurnal dikatakan bahwa rangkaian open loop ***tidak pernah digunakan*** dalam kehidupan nyata dan hanya sebatas teori saja. Hal tersebut dikarenakan sulitnya pengaturan dari suatu sistem itu sendiri serta ketidak telitian dan eror yang sangat besar karena berapapun output yang dihasilkan tidak akan memberikan timbal balik (*feedback*) terhadap inputannya, sehingga eror tidak dapat dihindari.



Grafik 4.12. Sinyal ramp respon pada MATLAB – closed loop

Grafik diatas merupakan hasil simulasi dari rangkaian tertutup (*closed loop*) dari susunan pertama (*first order*) yang disimulasikan menggunakan software MATLAB. Terlihat pada grafik diatas bahwa nilai ramp berbanding lurus terhadap waktu dengan peningkatan kecepatan aliran (bentuk grafik melengkung pada bagian awal). Hal ini sesuai dengan teori bahwa semakin lama pengoprasian dari sistem tersebut maka nilai ramp juga akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya waktu, pada bentuk grafik bagian awal yang berbentuk melengkung juga menunjukkan bahwa terjadi ketidak sesuaian aliran (*vilocity misalignment*) pada sistem yang mengakibatkan terjadinya delay pada outputnya. Berdasarkan grafik diatas terlihat lengkungan yang sangat kecil yang berarti delay yang terjadi sangatlah sebentar sehingga sistem tersebut dapat dikatakan baik.

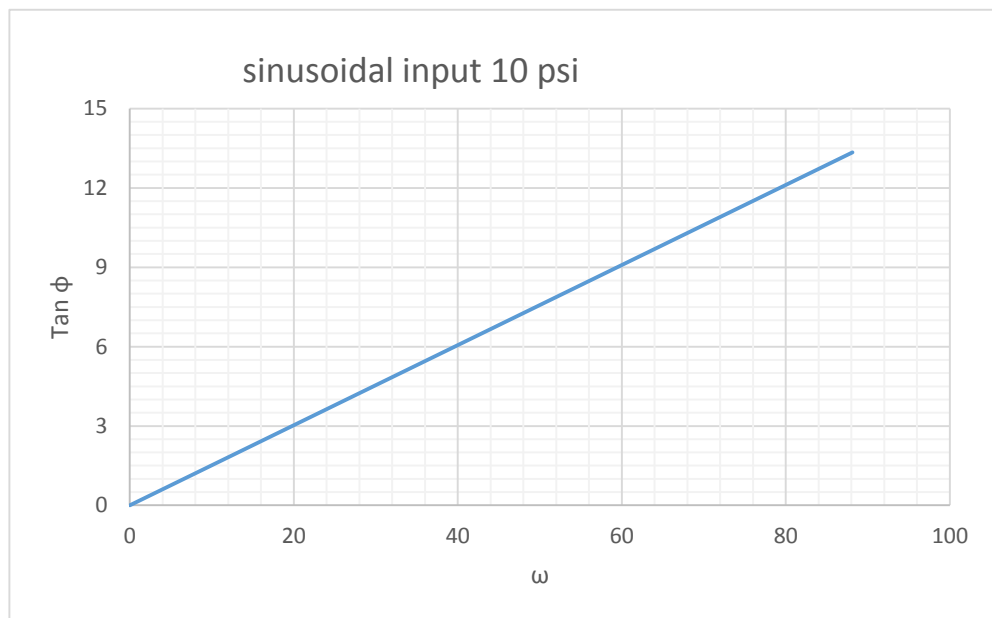
Grafik sinyal sinusoidal input

Fungsi sinyal uji sinusoidal merupakan pengujian yang berguna untuk menguji respon yang menerima input berupa sinyal sinus. Respon ini juga berfungsi untuk menganalisa keadaan transient dari suatu sistem. Dikarenakan sinyal uji sinusoidal hanya digunakan untuk menguji jika sistem menerima inputan berupa sinyal sinusoidal maka pada percobaan open loop tidak dilakukan analisa mengenai respon sinusoidal melainkan hanya pada percobaan closed loop saja. Grafik sinyal sinusoidal menunjukkan hubungan antara frekuensi dari sinusoidal input terhadap sudut fase (*phase lag*) pada output. Berikut ini detail penjelasan grafik sinusoidal untuk variasi tekanan pada 10 psi.

Grafik nilai sinusoidal

Tabel 4.14. Tabel frekuensi sinusoidal dan amplitudo

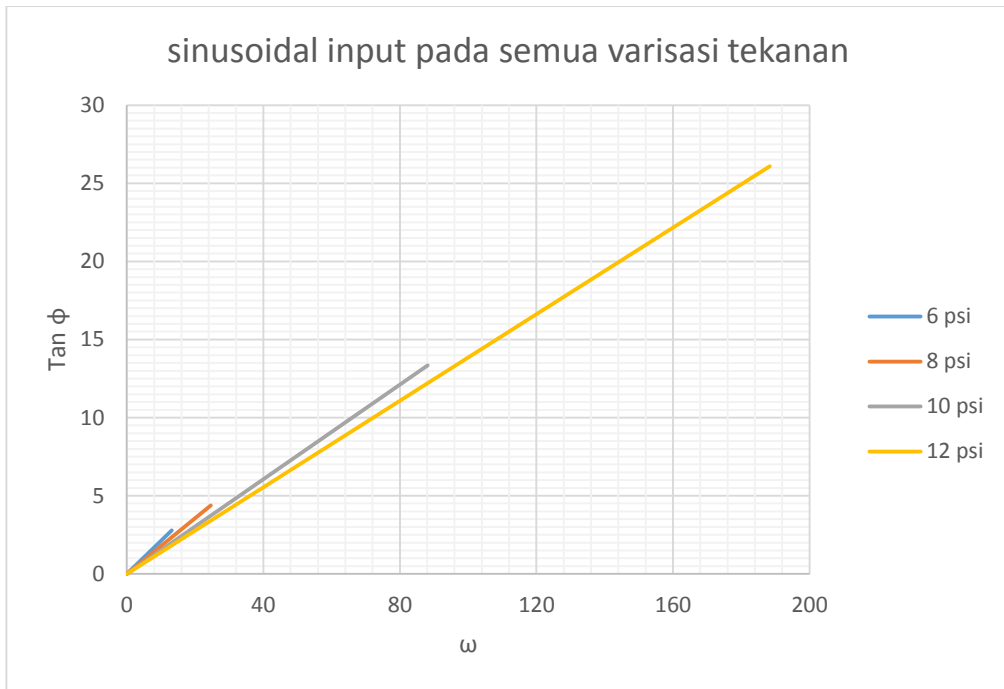
Amplitudo Ratio	ϕ	$\tan \phi$	T	ω
0,833	70,244	2,784	0,211	13,174
1,125	77,143	4,381	0,178	24,603
1,208	85,714	13,344	0,151	88,133
1,250	87,805	26,089	0,138	188,371



Grafik. 4.13. Hubungan frekuensi sinusoidal 10 psi

Grafik sinyal sinusoidal diatas menunjukkan hubungan antara frekuensi dari sinusoidal input terhadap sudut fase (*phase lag*) pada output. Semakin besar nilai frekuensi sinusoidalnya maka semakin besar pula sudut fase nya (bentuk gelombang semakin rapat) sehingga hubungan antara frekuensi sinusoidal terhadap besar sudut berbanding lurus. Semakin besar sudut dan nilai frekuensinya. Jika suatu gelombang sempurna (A – O – B) memiliki nilai amplitudo sebesar θ dalam nilai frekuensi dan periode yang tetap maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai frekuensi sinusoidalnya maka sistem tersebut semakin tidak stabil (dalam hal ini getaran yang dihasilkan semakin besar). Dari hasil perhitungan sebelumnya didapatkan nilai amplitudo rasio sebesar 1,2 dan nilai frekuensi sinusoidal sebesar 88,133 yang menghasilkan sudut gelombang sebesar $85,714^\circ$ yang berarti getaran yang terjadi cukup besar, dan dapat disimpulkan sistem tersebut berada pada kondisi yang kurang stabil.

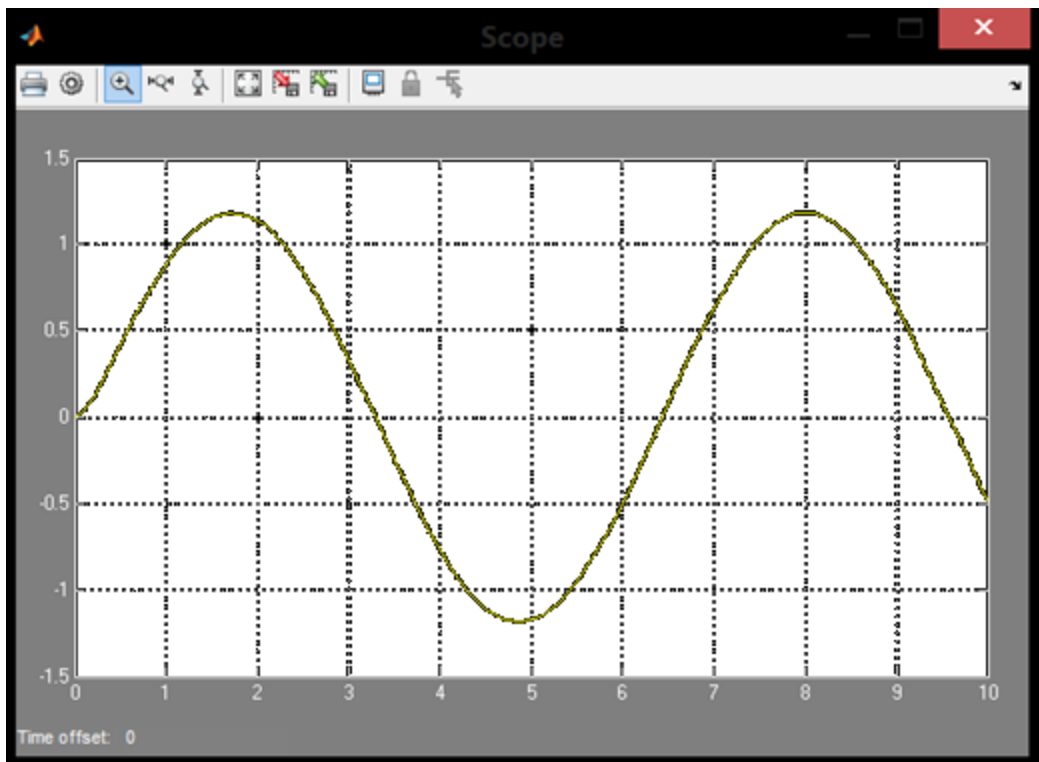
Berikut ini tampilan grafik dari variasi tekanan secara keseluruhan.



Grafik. 4.14. Hubungan frekuensi sinusoidal pada semua variasi tekanan.

Grafik diatas memperlihatkan hubungan frekuensi sinusoidal terhadap sudut fase pada semua variasi tekanan. Terlihat bahwa semakin besar tekanannya maka semakin besar juga frekuensi sinusoidal yang dihasilkan. Hal ini berarti semakin besar tekanan yang diberikan sebagai input pada suatu sistem akan mengakibatkan getaran yang semakin besar sehingga sistem akan semakin tidak stabil. Untuk mengurangi getaran yang sangat besar maka diberikan suatu peredaman pada sistem (dapat dilihat pada teori susunan ke dua).

Simulasi sinusoidal respon menggunakan MATLAB



Grafik. 4.15. Sinyal sinusoidal respon pada MATLAB – closed loop

Grafik diatas memperlihatkan bentuk gelombang sinusoidal pada frekuensi 1. Berdasarkan perhitungan sebelumnya diperoleh hasil perhitungan amplitudo rasio sebesar 1,2. Terlihat pada grafik bentuk gelombang sinusoidal yang dihasilkan cukup besar yang berarti sistem tersebut memiliki kestabilan yang kurang baik. Untuk mengurangi getaran yang terjadi dapat diberikan peredaman.

4.3.2. Second Order

Grafik sinyal step input

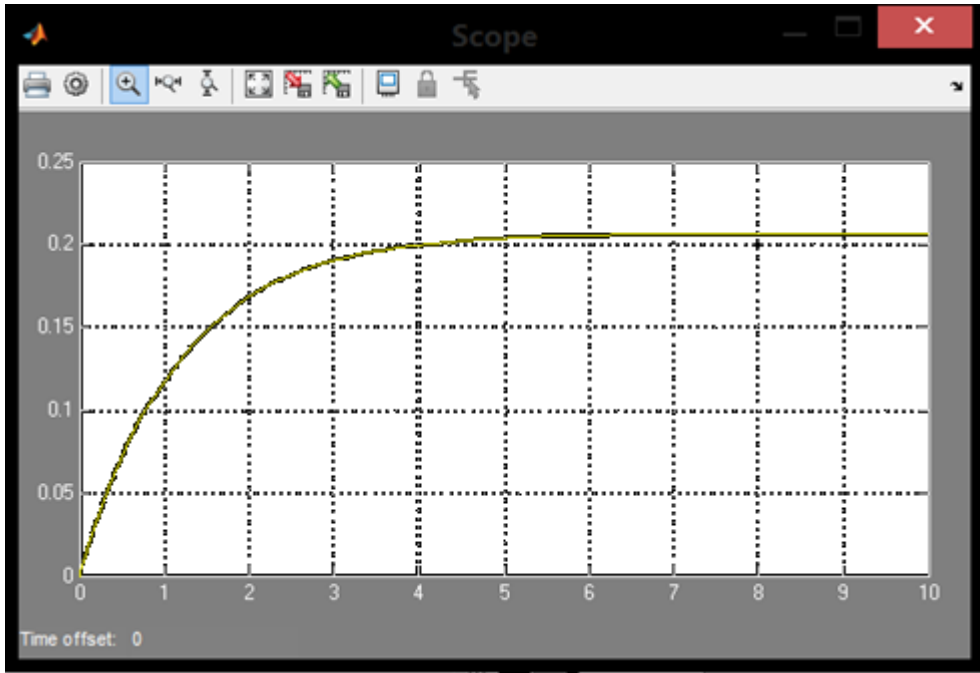
Fungsi sinyal uji step merupakan fungsi yang berguna untuk menguji respon sistem terhadap gangguan yang muncul tiba – tiba, dan melihat kemampuan sistem kontrol dalam memposisikan respon.

Grafik sinyal step menunjukan kondisi dari sistem tersebut terhadap gangguan yang muncul secara tiba – tiba. Dalam hal ini, sistem dalam keadaan diam, lalu kemudian diberi gangguan berupa gaya untuk menggerakkan flapper (inputan). Pada teori *second order*, sama halnya dengan *first order* hanya saja diberikan peredaman pada sistem sehingga karakteristik dari respon transient step juga berubah berdasarkan seberapa besar rasio peredaman yang terjadi.

Berikut ini detail penjelasan grafik step untuk variasi tekanan pada 10 psi menggunakan software MATLAB.

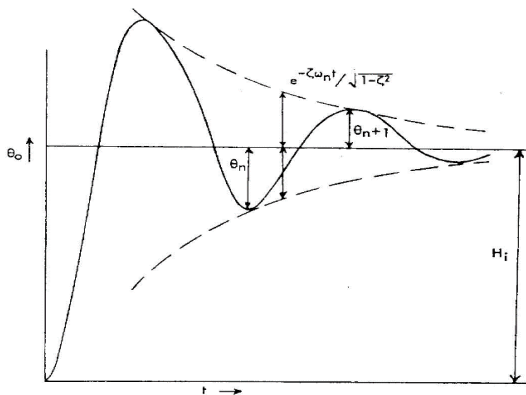
Grafik nilai step

Grafik nilai step menunjukkan seberapa besar nilai step pada waktu tertentu disertai peredaman yang disimulasikan pada rangkaian open loop dan closed loop.

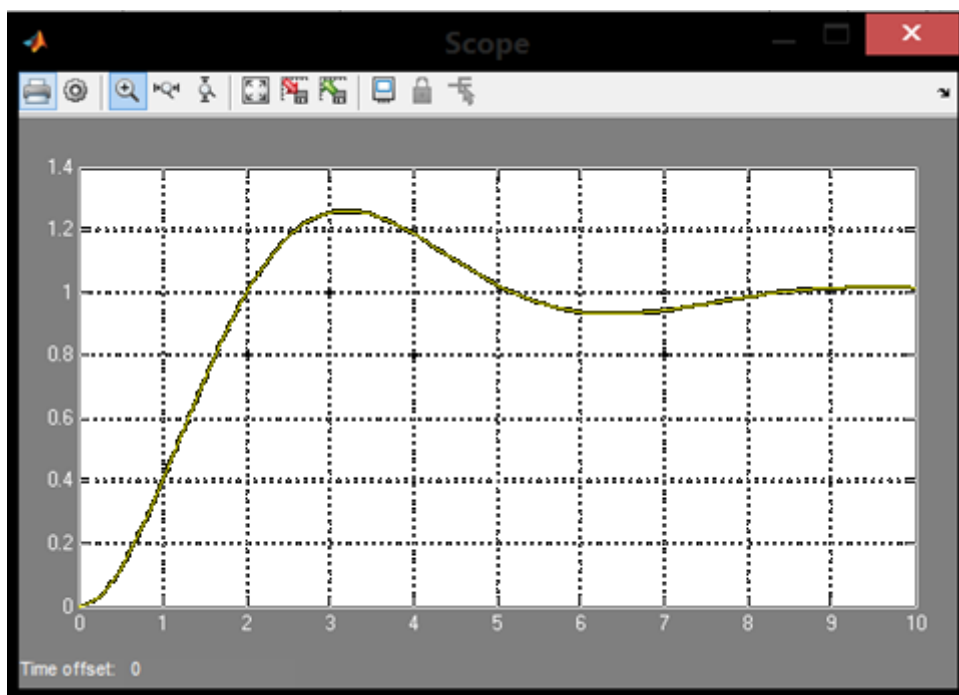


Grafik. 4.16. Sinyal step respon pada MATLAB – open loop

Berdasarkan grafik hasil simulasi teori orde kedua (*second order*) diatas, terlihat bahwa karakteristik grafik yang dihasilkan sama dengan orde pertama, tidak terjadi overshoot pada respon transient nya. Hal ini tidak sesuai dengan teori yang ada sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak ada sistem orde kedua (*second order*) yang memiliki rangkaian terbuka (*open loop*).



Grafik disamping (Gambar 2.11) menunjukkan bagaimana seharusnya karakteristik dari respon step pada teori susunan kedua (*second order*)



Grafik. 4.17. Sinyal step respon pada MATLAB – closed loop

Grafik diatas menunjukkan hasil simulasi sinyal uji step dari rangkaian closed loop susunan kedua (*second order*). Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya, sistem ini termasuk kedalam kategori underdamped dikarenakan $\zeta = 0,3$ sehingga karakteristiknya adalah nilai output akan mengalami lonjakan awal (*overshoot*) yaitu nilai output akan melebihi nilai step input dan kemudian akan turun hingga kebawahnya (*undershoot*) dan kemudian akan berangsur setabil walaupun ada kemungkinan terjadi lonjakan kedua yang memiliki nilai lebih rendah dibandingkan dengan lonjakan awal. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai step input sebesar 6,89 dengan lonjakan awal (*overshoot*) sebesar 0,37%.

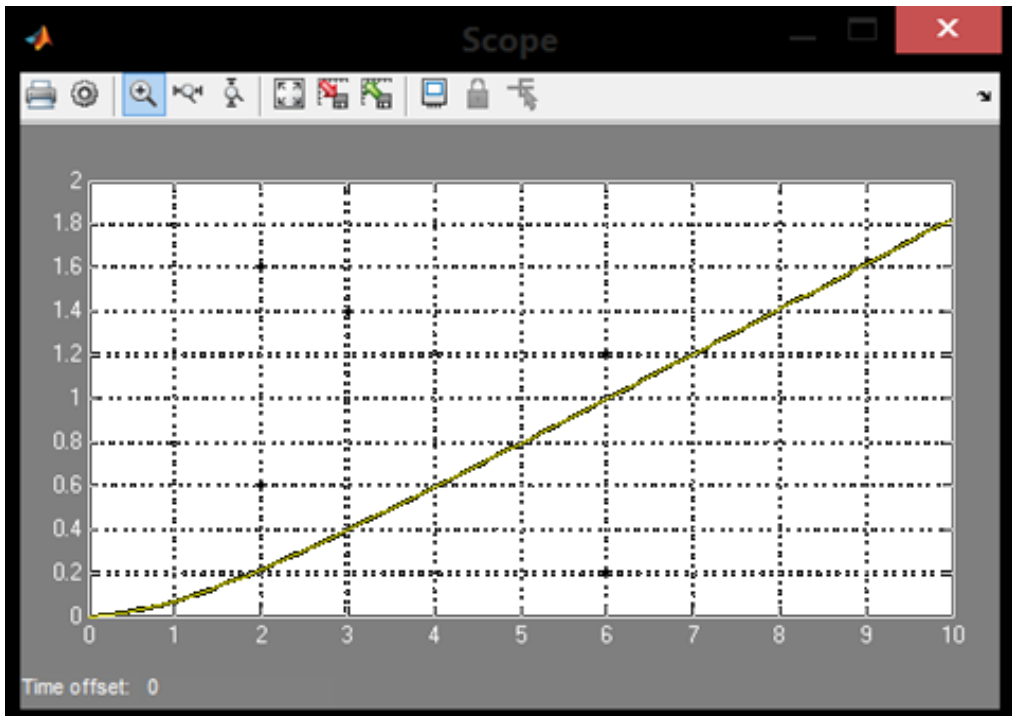
Pada grafik diatas terlihat overshoot yang terjadi yaitu sebesar $\pm 0,3\%$ sedangkan menurut hasil perhiungan sebesar 0,37%. Berdasarkan teori, besarnya lonjakan awal (*overshoot*) yang diizinkan adalah 0 hingga 10%. Jadi berdasarkan analisa dan perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa besarnya lonjakan awal (*overshoot*) yang terjadi pada sistem masih dapat diterima dan sistem dapat dikatakan dalam kondisi yang baik.

Grafik sinyal ramp input

Fungsi sinyal uji ramp merupakan fungsi berubah – ubah terhadap waktu, dan berguna untuk melihat kemampuan sistem kontrol untuk melacak target yang bergerak dengan kecepatan konstan.

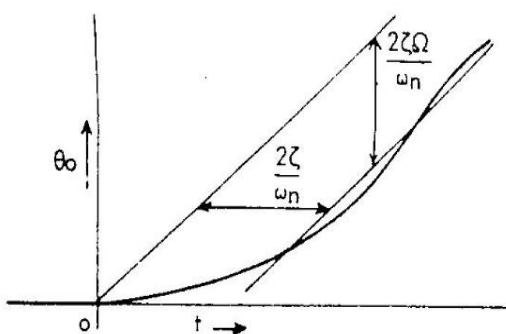
Grafik sinyal ramp menunjukkan kondisi dari aliran kecepatan pada sistem tersebut dari mulai kondisi diam ($t = 0$) sampai pada waktu tertentu (t) dan disertai peredaman.

Berikut ini detail penjelasan grafik ramp untuk variasi tekanan pada 10 psi menggunakan software MATLAB.

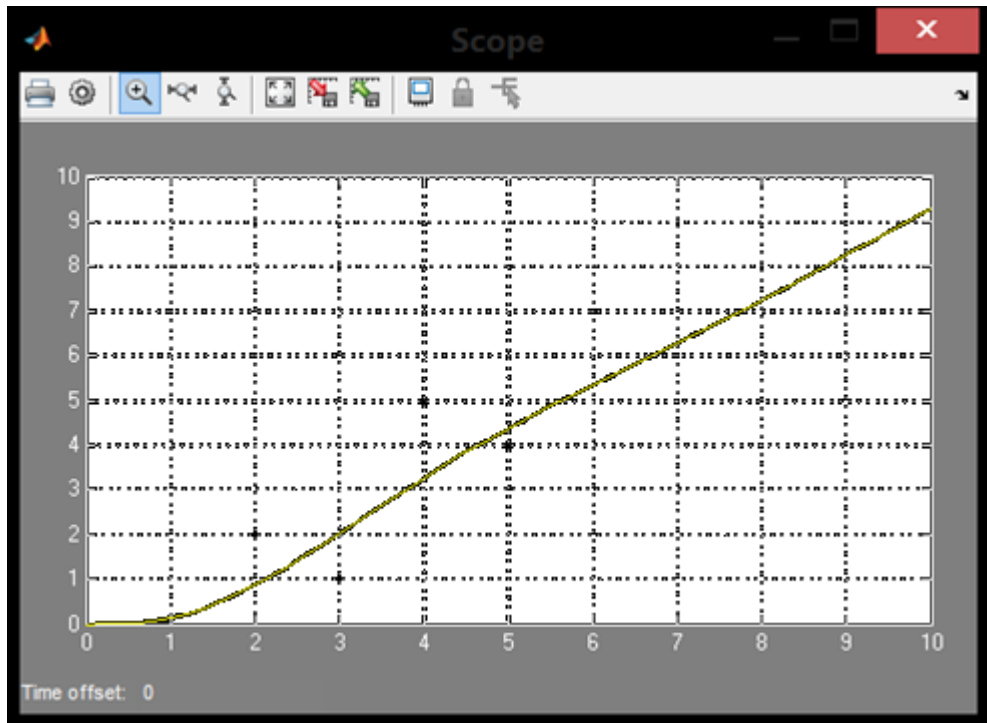


Grafik. 4.18. Sinyal ramp respon pada MATLAB – open loop

Berdasarkan grafik hasil simulasi teori orde kedua (*second order*) diatas, terlihat bahwa karakteristik grafik yang dihasilkan sama dengan orde pertama, tidak ada penambahan delay akibat peredaman. Hal ini tidak sesuai dengan teori yang ada sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak ada sistem orde kedua (*second order*) yang memiliki rangkaian terbuka (*open loop*).



Grafik disamping (Gambar 2.13) menunjukkan bagaimana seharusnya karakteristik dari respon step pada teori susunan kedua (*second order*)



Grafik. 4.19. Sinyal ramp respon pada MATLAB – closed loop

Grafik diatas menunjukkan hasil simulasi sinyal uji ramp dari rangkaian closed loop susunan kedua (*second order*). Dalam sistem orde kedua juga terjadi delay pada kecepatan aliran, namun waktu delay tersebut berbanding lurus terhadap rasio peredaman dan nilai ramp, persamaannya adalah : $\left(\frac{2\zeta\Omega}{\omega_n}\right)$. Artinya semakin besar peredaman yang diberikan maka waktu delay juga semakin lama dan nilai ramp juga semakin besar. Waktu konstan pada respon ramp juga dipengaruhi oleh nilai peredaman dengan persamaan : $\left(\frac{2\zeta}{\omega_n}\right)$.

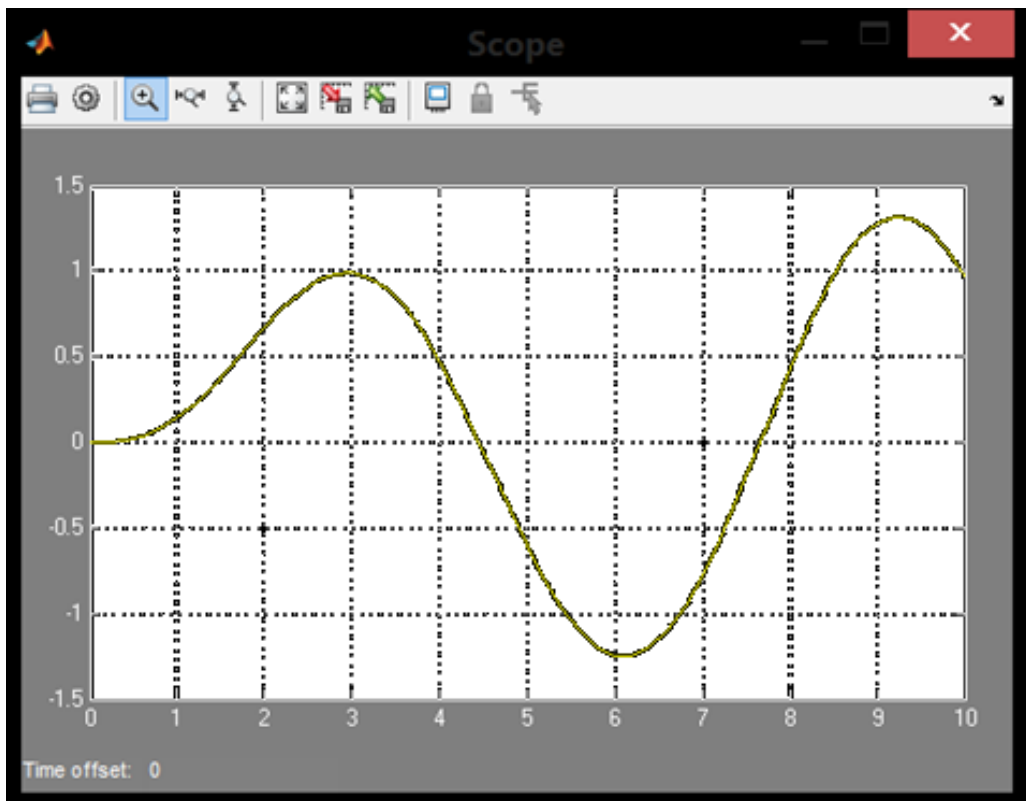
Berdasarkan grafik diatas terlihat bahwa waktu delay lebih lama (bentuk melengkung), namun berdasarkan hasil perhitungan diperoleh waktu delay selama 0,013 detik, hal ini berlawanan dengan teori. Dalam analisa perhitungan, hal ini disebabkan oleh nilai ramp pada sistem orde kedua jauh lebih kecil dibandingkan sistem orde pertama. Ketidak sesuaian antara teori dengan hasil perhitungan mungkin disebabkan oleh fungsi dari peredam yang tidak bekerja secara optimal.

Grafik sinyal sinusoidal input

Fungsi sinyal uji sinusoidal merupakan pengujian yang berguna untuk menguji respon yang menerima input berupa sinyal sinus. Respon ini juga berfungsi untuk menganalisa keadaan transient dari suatu sistem.

Dikarenakan sinyal uji sinusoidal hanya digunakan untuk menguji jika sistem menerima inputan berupa sinyal sinusoidal maka pada percobaan open loop tidak dilakukan analisa mengenai respon sinusoidal melainkan hanya pada percobaan closed loop saja.

Berikut ini detail penjelasan grafik sinusoidal untuk variasi tekanan pada 10 psi menggunakan software MATLAB.



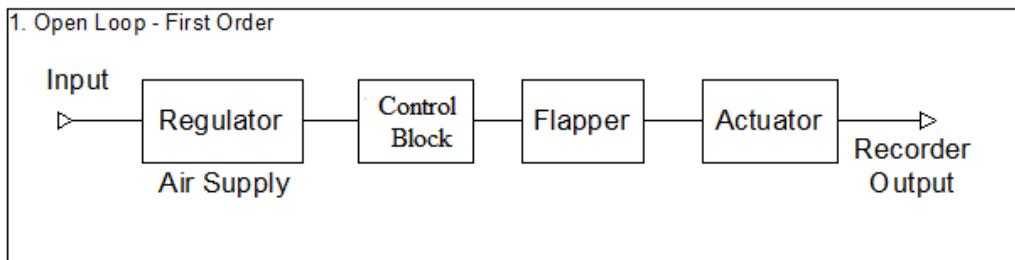
Grafik. 4.20. Sinyal sinusoidal respon pada MATLAB – closed loop

Grafik diatas menunjukkan hasil simulasi dari respon sinusoidal pada sistem orde kedua. Terlihat bahwa semakin besar nilai frekuensi sinusoidalnya, semakin besar juga sudut fase dan amplitudo nya. Hal ini sama seperti pada sistem orde pertama, seharusnya dengan adanya penambahan peredam pada sistem, gangguan berupa getaran berlebih dapat dikurangi. Hal ini mungkin terjadi akibat fungsi dari peredam yang tidak bekerja secara optimal sehingga amplitudo pada respon sinusoidal tetap mengalami peningkatan.

4.4. Pembahasan

Berikut ini merupakan pembahasan mengenai cara kerja dari rangkaian sistem :

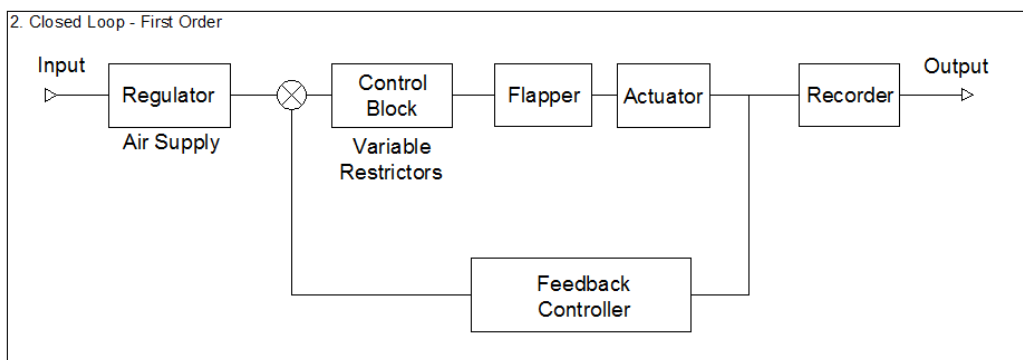
First Order



Gambar 4.1. open loop - first order

Gambar 4.1. memperlihatkan sebuah sistem kontrol sederhana dari peralatan *pneumatic controller feedback* PCM140 yang dirangkai dengan susunan terbuka (*open loop*) dari sistem orde pertama (*first order theory*). Input yang dimaksud merupakan tekanan angin dari kompresor yang kemudian dialirkan menuju regulator untuk diatur tekanannya (20 psi pada regulator dan 10 psi pada salah satu sisi jack silinder). Kemudian input tersebut akan dialirkan menuju sistem dengan cara dioperasikan manual (operator : manusia) menggunakan *testing rod* (lihat pada gambar 3.2.A dan 3.2.B).

Pergerakan dari *testing rod* ini akan mengatur pergerakan dari flapper dan akan mengatur posisi buka – tutup nozzle yang mengatur aliran pada sisi silinder jack dan kemudian akan menggerakkan aktuator. Hasil gerakan aktuator ini terhubung pada recorder yang kemudian akan membentuk trace seperti pada Gambar 2.16 untuk di analisa. Pada susunan open loop, output sangat dipengaruhi oleh pergerakan dari gerakan flapper dan penyetingan pressure harus benar agar eror pada waktu respon (t_1 dan t_2) serta eror pada bentuk trace pada recorder dapat diminimalisir. Data hasil pengukuran pada *open loop* ini digunakan untuk mencari nilai konstanta penghubung (*integrator constant*).



Gambar 4.2. closed loop - first order

Gambar 4.2. memperlihatkan sebuah sistem kontrol yang lebih kompleks dari peralatan *pneumatic controller feedback* PCM140 yang dirangkai dengan susunan tertutup (*closed loop*) dari sistem orde pertama (*first order theory*). Pengaturan input yang dimaksud adalah sama seperti sebelumnya namun input tersebut akan dialirkan menuju sistem dengan cara dioperasikan menggunakan putaran motor yang terhubung pada *input member* yang dihubungkan langsung dengan flapper (lihat pada gambar 3.3.A dan 3.3.B).

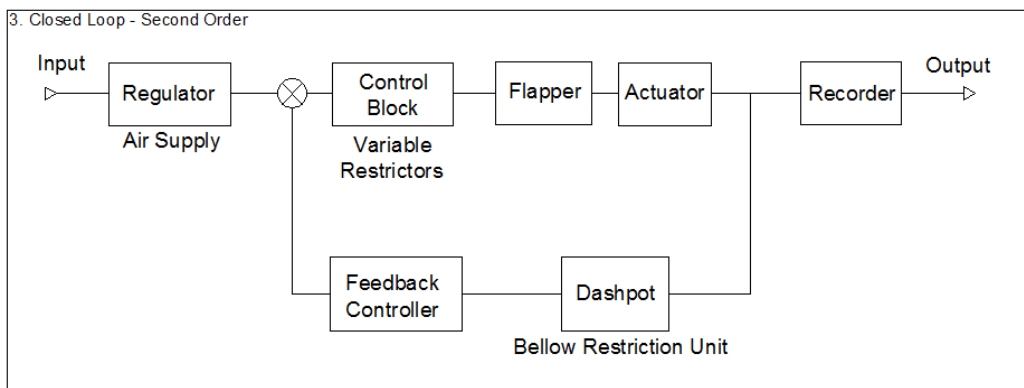
Pergerakan putaran motor ini akan mengatur pergerakan dari flapper dan akan mengatur posisi buka – tutup nozzle yang mengatur aliran pada sisi silinder jack dan kemudian akan menggerakkan aktuator. Hasil gerakan aktuator ini terhubung pada recorder yang kemudian akan membentuk trace seperti pada Gambar 2.19 untuk di analisa.

Input yang diberikan oleh putaran motor akan membentuk trace pada recorder dan akan muncul berupa sinyal sinusoidal. Pada saat kondisi awal switch input dinyalakan, dapat terlihat adanya keterlambatan pada output (*output lags*) untuk melihat respon sistem pada kondisi awal (*initial condition*), respon transient serta performa dari sistem tersebut ini maka perlu dilakukan perhitungan sinyal uji step.

Setelah beberapa detik kecepatan aliran pada sisi output akan mulai menjadi konstan, berdasarkan hasil percobaan kecepatan konstan akan diperoleh ketika terbentuk 1 gelombang. Untuk melakukan pengujian pada kecepatan konstan maka digunakan perhitungan sinyal uji ramp. Performa sistem juga dapat dianalisa dengan melakukan pengujian ramp yaitu berupa seberapa besar delay dari sistem sebelum memasuki kondisi konstannya.

Dikarenakan menerima input berupa sinyal sinusoidal, maka pengujian respon sinusoidal juga perlu dilakukan serta untuk mengetahui bagaimana kondisi respon transient, seberapa besar amplitudo dan frekuensi yang dihasilkan untuk mengetahui apakah sistem tersebut stabil atau tidak.

Second Order



Gambar 4.3. closed loop - second order

Gambar 4.3. memperlihatkan sebuah sistem kontrol kompleks yang hampir sama dengan first order pada putaran tertutup (*closed loop*). Perbedaannya hanya pada peredam (dashpot) yang menyebabkan akan timbul respon transient yang berupa rasio peredaman (*damping ratio*) dan lonjakan awal (*overshoot*).

Seberapa besar peredaman yang dihasilkan pada sistem akan mempengaruhi karakteristik dari pengujian stepnya. Pada hal ini, sistem termasuk kedalam kategori underdamped dikarenakan memiliki rasio peredaman kurang dari 1 ($\zeta = 0,3$). Ciri dari sistem yang berjenis underdamped ini adalah pada saat sistem beroperasi terjadi lonjakan awal (*overshoot*) yaitu berupa nilai output yang tinggi sehingga melebihi input. Kemudian outputnya mengalami penurunan sehingga dibawah nilai input dan lama – lama akan berangsur menjadi stabil, kemungkinan terjadi overshoot berikutnya mungkin ada namun nilainya masih lebih kecil dibandingkan dengan overshoot yang pertama. Dari nilai overshoot juga dapat disimpulkan apakah sistem tersebut aman atau tidak karena overshoot memiliki batas toleransi sebesar 0 hingga 10%.

Dikarenakan terdapat peredaman pada sistem, secara tidak langsung hal ini juga mempengaruhi nilai ramp sehingga delay pada sistem juga akan semakin besar tergantung dari jenis rasio peredaman tadi. Begitu pula dengan nilai respon sinusoidal, dengan adanya peredaman seharusnya frekuensi sinusoidal dan juga amplitudo rasio dapat ditekan sehingga sudut fase dari gelombang yang dihasilkan akan semakin kecil dan sistem tersebut memiliki gangguan berupa getaran yang lebih kecil (lebih stabil).

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan.

Berdasarkan hasil percobaan, pengamatan, perhitungan, dan analisa data yang telah dilakukan, maka dapat didapatkan kesimpulan untuk menjawab tujuan dari eksperimen ini, berupa :

1. Dalam pengaplikasiannya, sistem orde pertama lebih banyak digunakan untuk kinerja sistem yang membutuhkan pergerakan langsung, cepat, dan tidak terlalu mementingkan peredaman seperti contohnya untuk sistem mekanisme valve pneumatis, rem pneumatis, atau pintu navigasi kapal. Sedangkan sistem orde kedua lebih banyak digunakan untuk kinerja sistem yang membutuhkan peredaman dan pergerakan yang diperlambat seperti contohnya pada ramp door kapal ataupun sistem buka tutup pintu lainnya seperti pada pintu bus atau pintu kereta yang memerlukan peredaman untuk meminimalisir kerusakan akibat benturan.
2. Dalam keadaan transient pada sistem, dilihat dari respon waktu didapatkan nilai waktu konstan sebesar 0,151 detik, dengan delay yang terjadi selama 1,056 detik untuk sistem orde pertama. Sedangkan pada sistem orde kedua, diperoleh nilai *damping ratio* kurang dari 1 ($\zeta = 0,3$) sehingga berdasarkan peredamannya sistem dikategorikan sebagai *underdamped* dan terjadi *overshoot* sebesar 0,37%, dengan waktu delay selama 0,013 detik dan waktu konstan sebesar 0,359 detik. Berdasarkan analisa perhitungan secara keseluruhan, respon transient dari sistem dapat dikatakan baik.
3. Untuk pengujian respon sistem, diperoleh nilai step sebesar 14,5 mm untuk sistem orde pertama dengan waktu konstan $T = 0,151$ didapatkan nilai step sebesar 63,2% (9,164 mm). Untuk sistem orde kedua diperoleh hasil sebesar 6,89 mm disertai *overshoot* sebesar 0,37% dengan waktu konstan $T = 0,359$ detik dan *damping ratio* sebesar 0,3. Kemudian untuk sinyal uji ramp didapatkan perhitungan nilai ramp sebesar 6,98 dengan waktu delay selama 1,056 detik untuk sistem orde pertama dan nilai ramp sebesar 0,036 dengan waktu delay selama 0,013 detik untuk sistem orde kedua. Dan untuk nilai sinusoidal sebesar 88,13 dengan amplitudo rasio sebesar 1,208, terbentuk sudut fase sebesar $85,71^\circ$ untuk sistem orde pertama, dan nilai sinusoidal sebesar 0,762, dengan amplitudo rasio 1,66, terbentuk sudut fase $76,59^\circ$ untuk sistem orde kedua. Hal ini sekaligus membuktikan dengan adanya peredaman, respon sistem menjadi lebih halus (getaran lebih sedikit karena gelombang yang dihasilkan lebih renggang).

5.2. Saran.

Setelah melakukan penelitian mengenai sistem kontrol pneumatis dengan sistem orde pertama dan kedua, didapatkan beberapa ide dan saran untuk mengembangkan penelitian ini untuk selanjutnya, berupa :

1. Memvariasikan peredaman untuk sistem orde kedua dengan cara mengganti oli pada dashpot dengan viskositas yang beragam.
2. Mengembangkan peralatan instrumen feedback tipe PCM140 dengan mengacu pada suatu sistem lain, khususnya pada bidang marine seperti ramp door dengan menambah atau memodifikasi rangkaian.
3. Mengembangkan penelitian dengan percobaan teori *third order* dan *fourth order* mengacu pada modul feedback tipe PCM140.

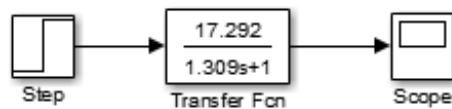
DAFTAR PUSTAKA

- B.L. Theraja, A.K. Theraja, S.G. Tarnekar. 2005. *Basic Electrical Engineering (volume1) "A Textbook of Electrical technology"*. Visvesvaraya National Institute of Technology, Nagpur. Ram Nagar, New Delhi.
- Ogata, K.. 2002. *"Modern Control Engineering" 4th edition. Printice-Hall, Inc. New Jersey.*
- Rahmat, Basuki. 2004. Diktat Dasar Sistem Kontrol EE-3133. Sekolah Tinggi Teknologi Komunikasi. Bandung.
- Roland, S.Burns. 2001. *"Advance Control Engineering"*. Butterworth Heinemann. University of Plymouth, UK.
- Stanley, M.Shinners. 1978. *"Modern Control System Theory and Application" Second Edition. Addison-Wesley Publishing Company. New York.*
- Suhardi. 2013. Jurnal Tugas Akhir "Pneumatik dan Pengaplikasiannya Pada Kapal". Universitas Hasanuddin.
- Supeno, Bambang. 2013. Jurnal Kontrol Pneumatis "Aplikasi Sistem Kontrol Pneumatik Pada Robotika (Bagian 1)" Universitas Jember.
- "Feedback Control Teaching Mechanism Type PCM140" Module.

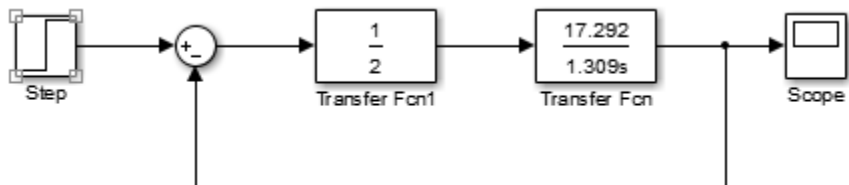
“Halaman Sengaja Dikosongkan”

LAMPIRAN

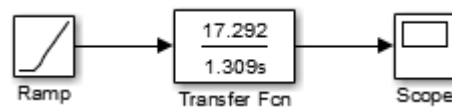
Step first order – open loop



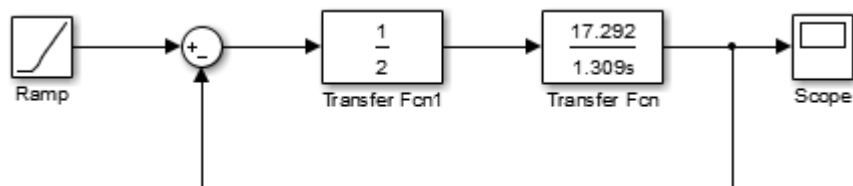
Step first order – closed loop



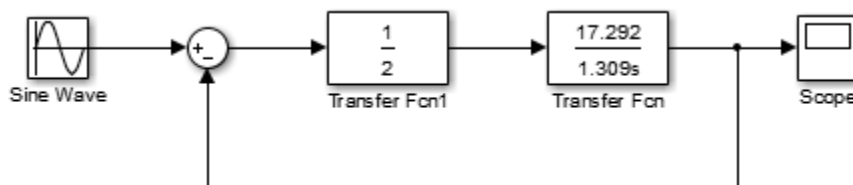
Ramp first order – open loop



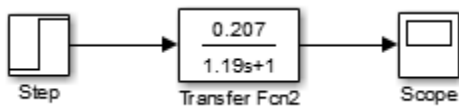
Ramp first order – closed loop



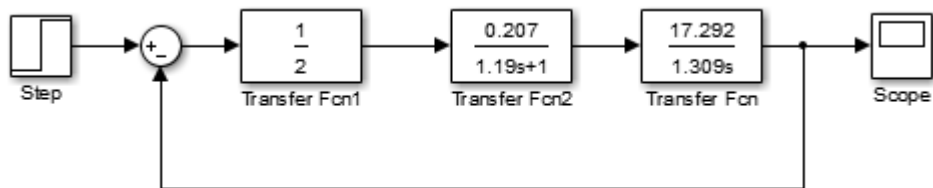
Sinusoidal first order



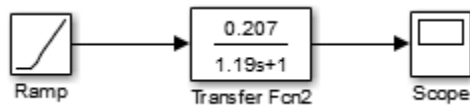
Step second order – open loop



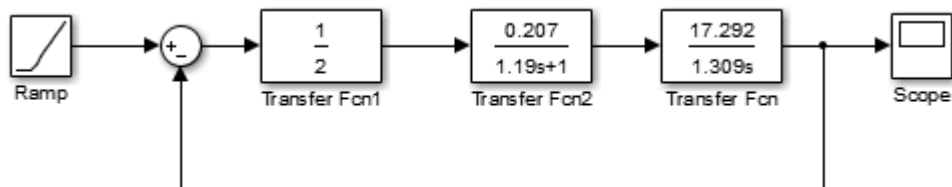
Step second order – closed loop



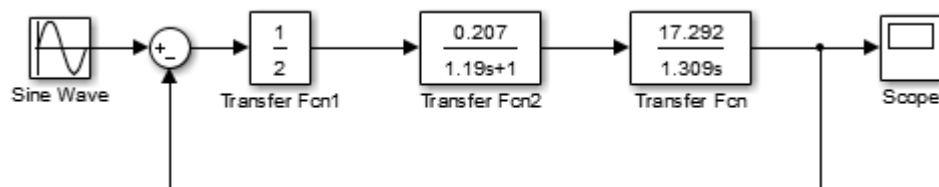
Ramp second order – open loop



Ramp second order – closed loop



Sinusoidal second order



MAINTENANCE.

Dismantling the output jack for cleaning. (Fig. 2)

Disconnect the nylon tube (Fig. 2/12) from the cylinder end cap (Fig. 2/10).

Unscrew the three socket screws (Fig. 2/6) from the front cylinder mounting taking care to support the piston (Fig. 2/8) when it appears; carefully pull the cylinder (Fig. 2/9) away from the front mounting.

Remove the cylinder rear cap (Fig. 2/11).

The piston and cylinder should then be cleaned with a chamois leather.

DO NOT OIL.

Replace clean and dry under reasonable dust-free conditions.

Check the condition of the air filter element and downstream pipework before the system is put into service again.

Control Block - Removal of nozzles for cleaning.

The nozzles are removed by unscrewing them directly from the block. When replacing them it will be found that rotating the nozzle as it enters the block will facilitate assembly and prevent the 'O' ring seals being damaged as they pass over the drillings.

Replacement pen drive cards and cable drive for loading system.

The correct grade and length of card or cable can be supplied upon request from Feedback Limited.

FAULT LOCATION GUIDE.Poor output waveform.

The area in which the trouble lies can be quickly determined by disconnecting the recorder wires from the mass unit wires and viewing the output waveform on an oscilloscope. If this is still poor, the source of the trouble does not lie in the recorder.

Investigation.Remedy.

Control block:

Check for saturation.

Reduce value of gain.

Recorder:

Check wire tension.

Reset.

Check action of pen actuating arms and bearings.

Oil and adjust. (See 'Recorder faults')

Check tightness of pen adjusting screw

Tighten and reset. (See 'Recorder faults')

Check for sticky pulley bearings.

Free and oil.

Linkages:

Check for backlash in all elements.

Tighten.

Check backlash unit.

Adjust.

Loading system:

Check for excessive tension.

Adjust.

Output jack:

Investigate cylinder cleanliness. (This procedure should only be followed when other investigations have failed to reveal the cause of the trouble).

Clean with chamois leather. Section H.

Control block:

Check setting.

See Section F.

Bellows restrictor unit:

Check oil level in restrictor.

Top up, if necessary.

Inertia load:

Check for slipping, check tightness of clamping screw, check wire tension, check pulley clamping screws.

Tighten and adjust.

Poor input waveforms.Investigation.

Input units:

Check tightness and alignment of units on input shaft from variable speed drive.

Remedy.

Align and tighten.

Variable speed drive:

Check for slipping.

See Variable Speed Drive, Section D.

Recorder faults.

Recorder pens do not write.

The pens may not always write immediately when the rig has not been used for some time. This may be cured by tapping lightly with paper running through. Pen replacement is described in Section D under 'Changing Pens'.

Recorder pens not aligned.

On very low values of gain a small amount of play necessary in the cantilever support block bushes has a very large effect on the output position. If the block does not return to the exact position in which the serve was balanced initially, the output pen may be out of line with the input. This can be remedied by resetting the cantilever support block.

To adjust the pens backwards or forwards, remove the dust cover from the rear of the unit, slacken the pen arm grub screw in the bearing block and adjust as required.

Sideways misalignments can be corrected by moving the pens along the bearing shafts.

Note that when making this adjustment care should be taken to ensure that the pens do not strike the recorder sides.

Wear in the pen guide bearings will result in rock of the pen tips. This may be eliminated by tightening the bearing pinch screw until resistance to rotation of the bearing shaft is felt. Extreme care must be taken not to overtighten the pinch screw or damage to the bearing will result.

Recorder does not drive paper.Investigation.

Check paper to see if end of roll has been reached.
Check for jamming of paper roll.
Check tightness of pulleys on shaft.
Check bottom recorder roll for freedom in adjusting plate.
Check belt tension.

Remedy.

Replace, see Section D.
Free and adjust.
Tighten.
Free and lightly oil.
Adjust.

Recorder paper runs out of true.Investigation.

Check bottom recorder roll for freedom
in adjusting plates.
Check tightness of adjusting plate screws.
Check that rollers are free.

Remedy.

Free and lightly oil.
Adjust and tighten.
Oil.

Variable speed drive faults.

Continuous slipping will damage the drive elements so the source of the trouble should be located immediately.

Check for oil or grease on friction
surfaces.
Check wear on friction wheel.
Check pulley clamping screws.
Check input units for freedom of
movement.

Degrease.
Replace.
Tighten.

Release jammed member.

Oscilloscope not recording.

Check power supply.
Check wipers for contact.
Check carbon strip for wear.

Check output voltage.
See Section D.
Select new track.

No overshoot or asymmetric response with
second order system.

Check oil level in bellows/restrictor
unit.
Check restrictor between control block
and jack is fully open.
Check tightness of support clamping
screws.
Check setting up of control block.

Top up.

Open.

Tighten.
See Section F.

SECTION L

COMPONENT REFERENCE LIST FOR CIRCUIT NO. M140/2768. (Fig. 44)

Component Ref. No.	Type	Value	Tol. %	Rating	Remarks
CAPACITORS					
C1 - C2	Electrolytic	1000mfd		Volt	Hunt Type MEF109A
C3	" S346	2x8.3mfd	+15%-0%	25	Parvalux Elec. Motors
C4	Paper	.68 μ F	10	350	Mullard Type C102C
DIODES					
D1 - D4	OA202				Mullard
D5 - D6	SZ62A				Mullard
POTENTIOMETERS					
Special	Resistive	Ohms			
	carbon paper	200/sq. in.			FB Part No. 2728-200
P1 - P2	Contacts				Johnson & Matthey
	type H4/413				FB Part No. 2728-190
RESISTORS					
R1 - R2	Carbon	Ohms		Watt	
		180	10	1/2	RC7-H
SWITCHES					
S1 - S2	Toggle DPCO	Amp			
		3		250	Arrow Type 81058-
					BT-13-CH.
S3	Slide TPCO	5		250	FB Part No. 2542-148
TRANSFORMER					
T1	Feedback				
	Spec. FT25				FB Part No. 2821-204
MOTORS					
M1	Parvalux				
	Electric				FB Part No. 2565-217
	Motors Type				
	SD8.				
M2	Mullard				
	AU5100/23				FB Part No. 2565-220
	and Gearbox				
	AU5300/80CL				

140H-59-1

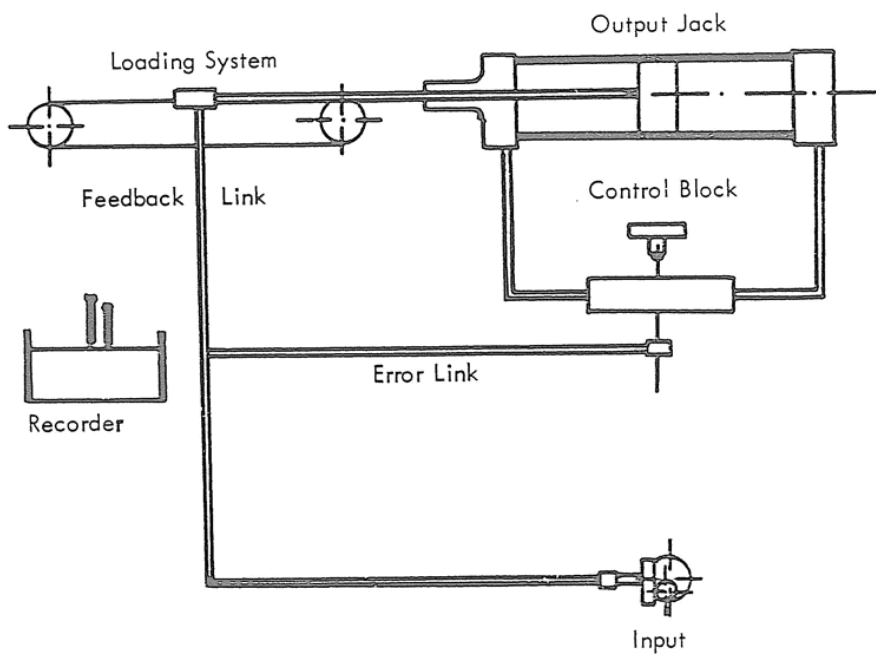
DIAGRAMMATIC VIEW OF SERVO.

Fig. 1A

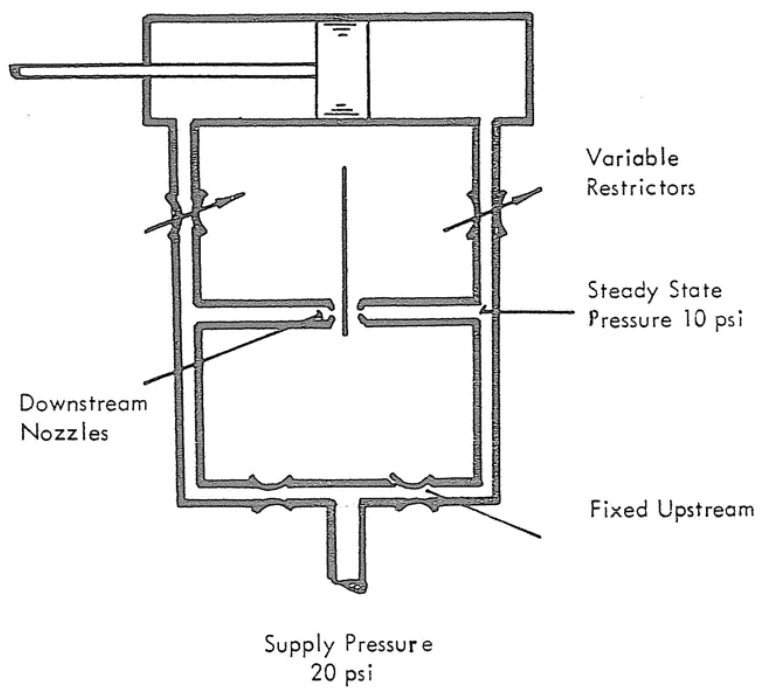
PNEUMATIC CIRCUIT DIAGRAM

Fig. 1B

DETAILS OF CONTROL BLOCK, OUTPUT JACK, AND LOADING SYSTEM.

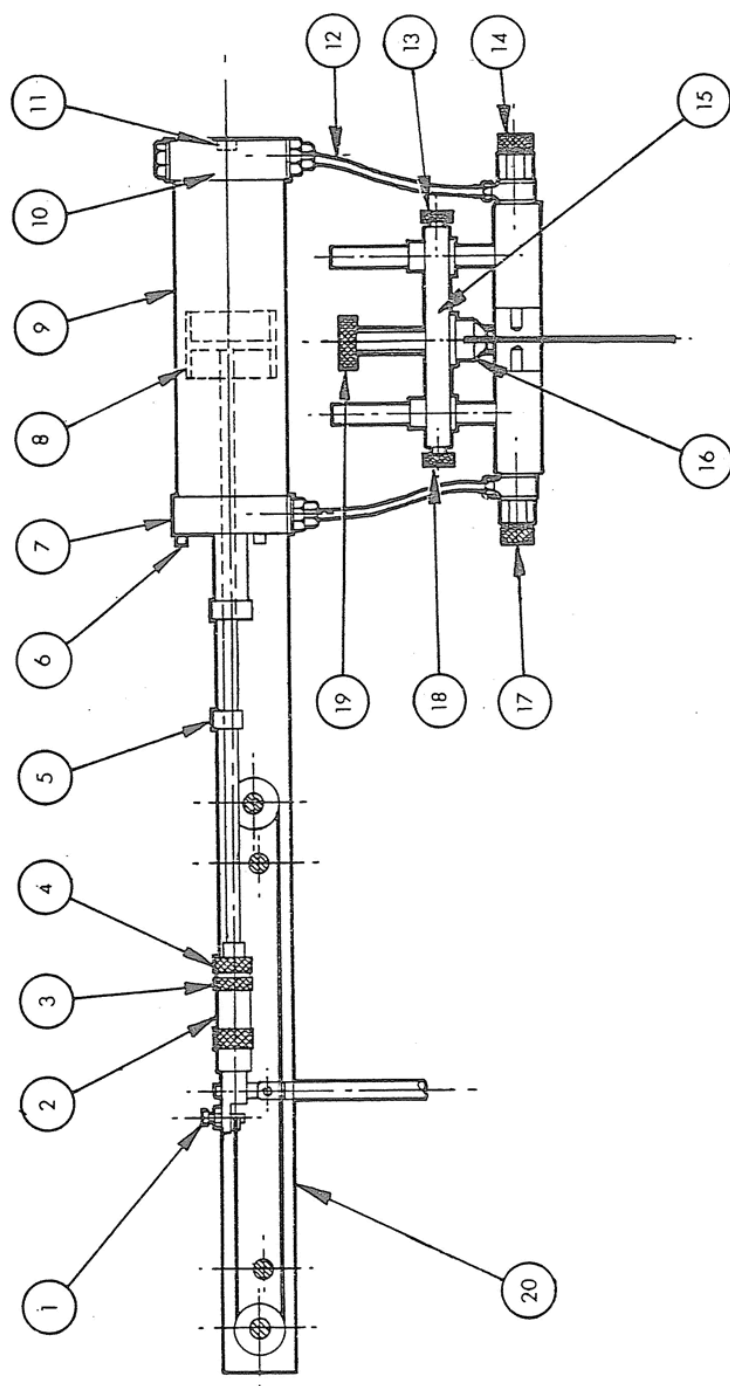


FIG. 2.

CONTROL BLOCK

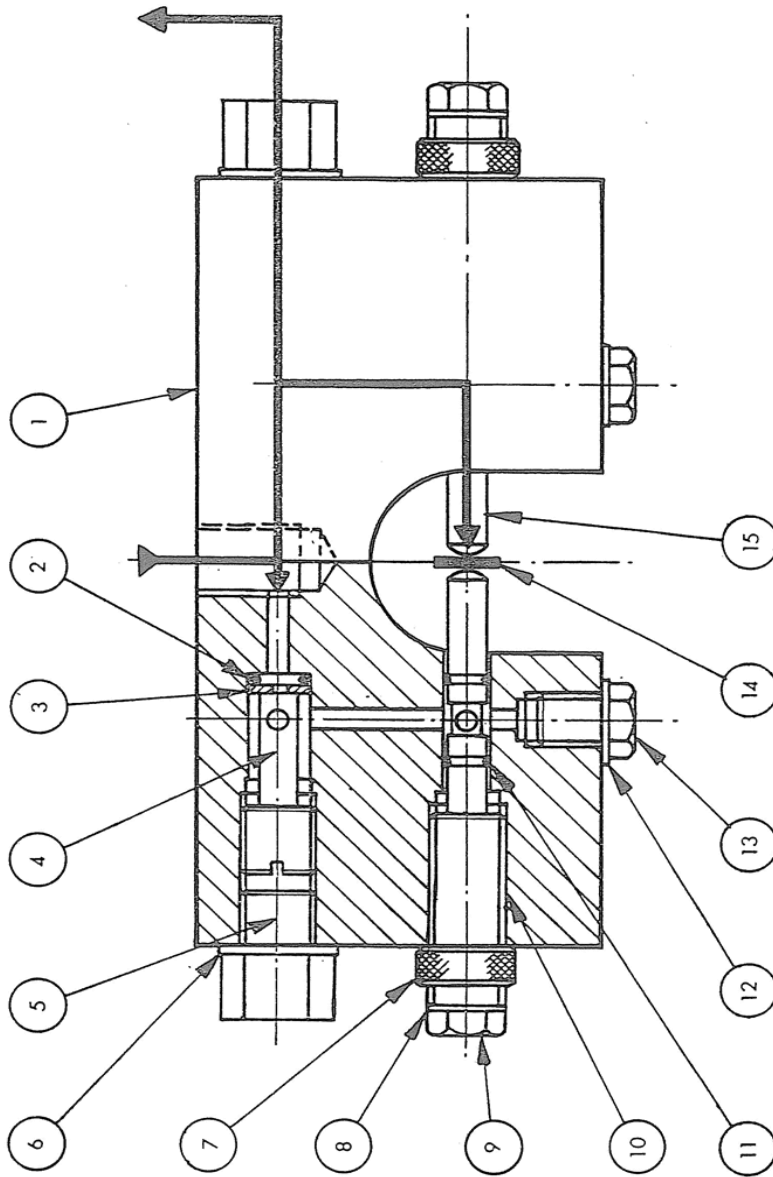


FIG. 3.

FLAPPER BLADE ALIGNMENT

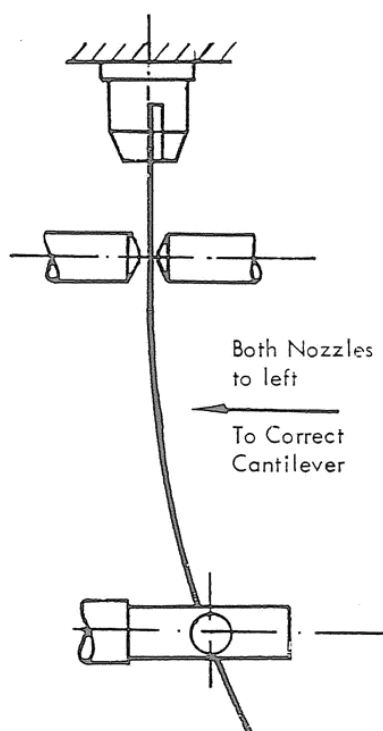
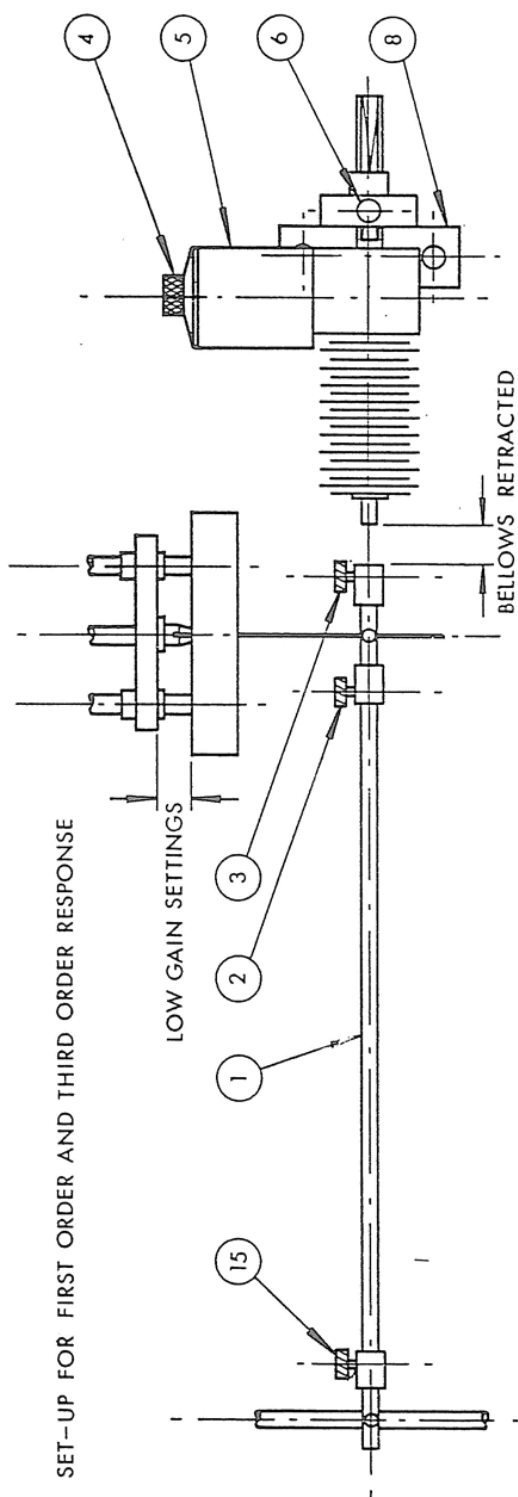
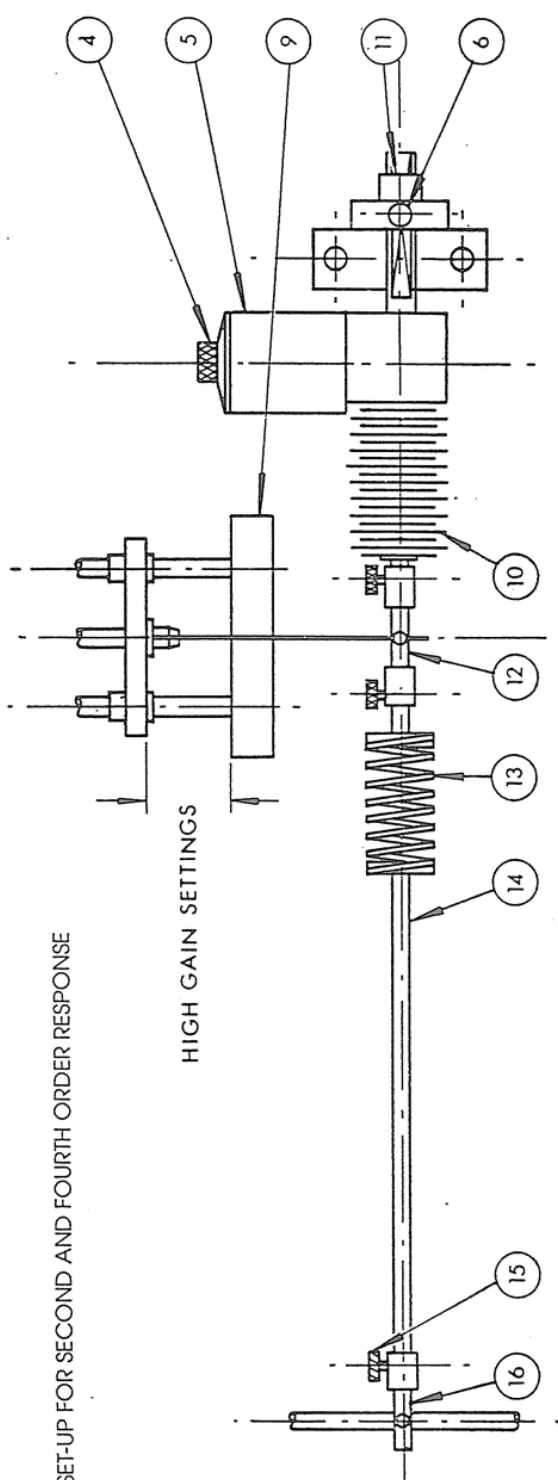


Fig. 4

SET-UP FOR FIRST ORDER AND THIRD ORDER RESPONSE



SET-UP FOR SECOND AND FOURTH ORDER RESPONSE



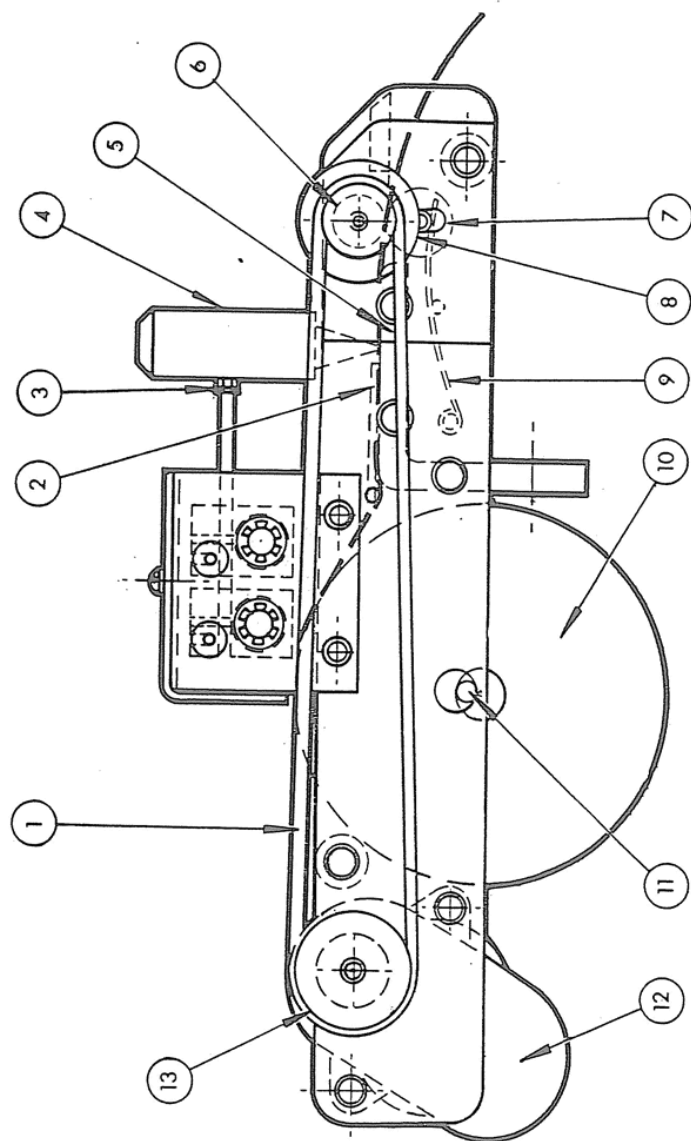


FIG 6
PEN RECORDER

Variable speed drive assembly

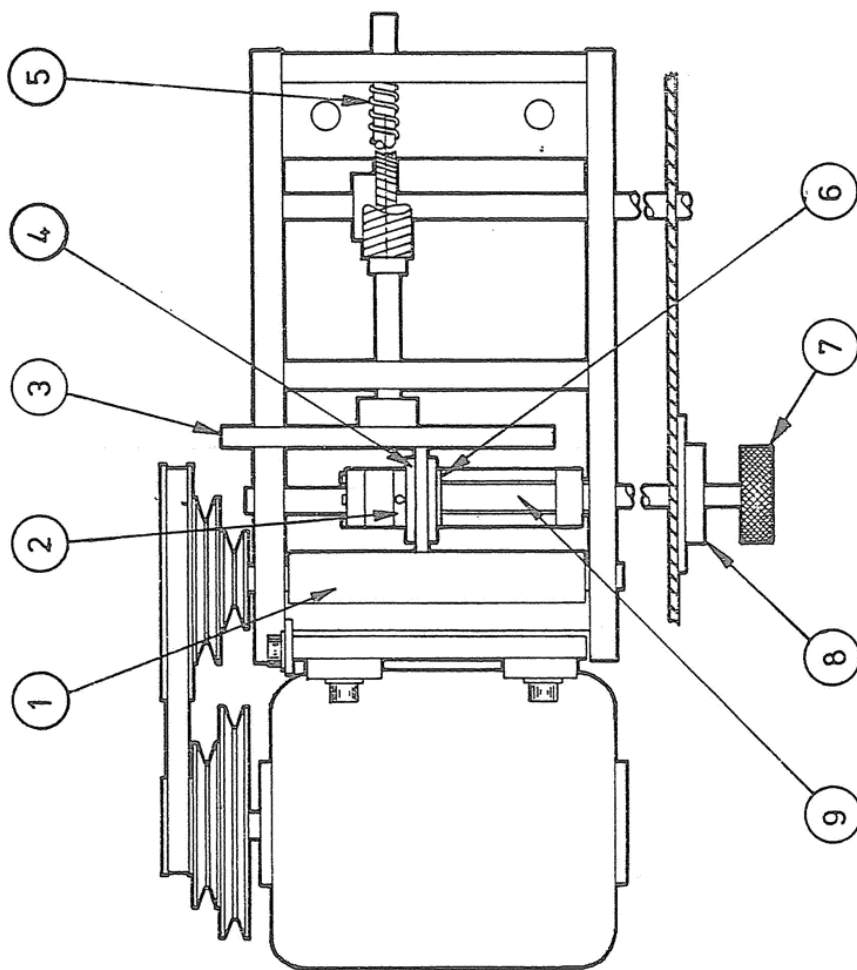


FIG. 7.

SET UP FOR OPEN LOOP TEST

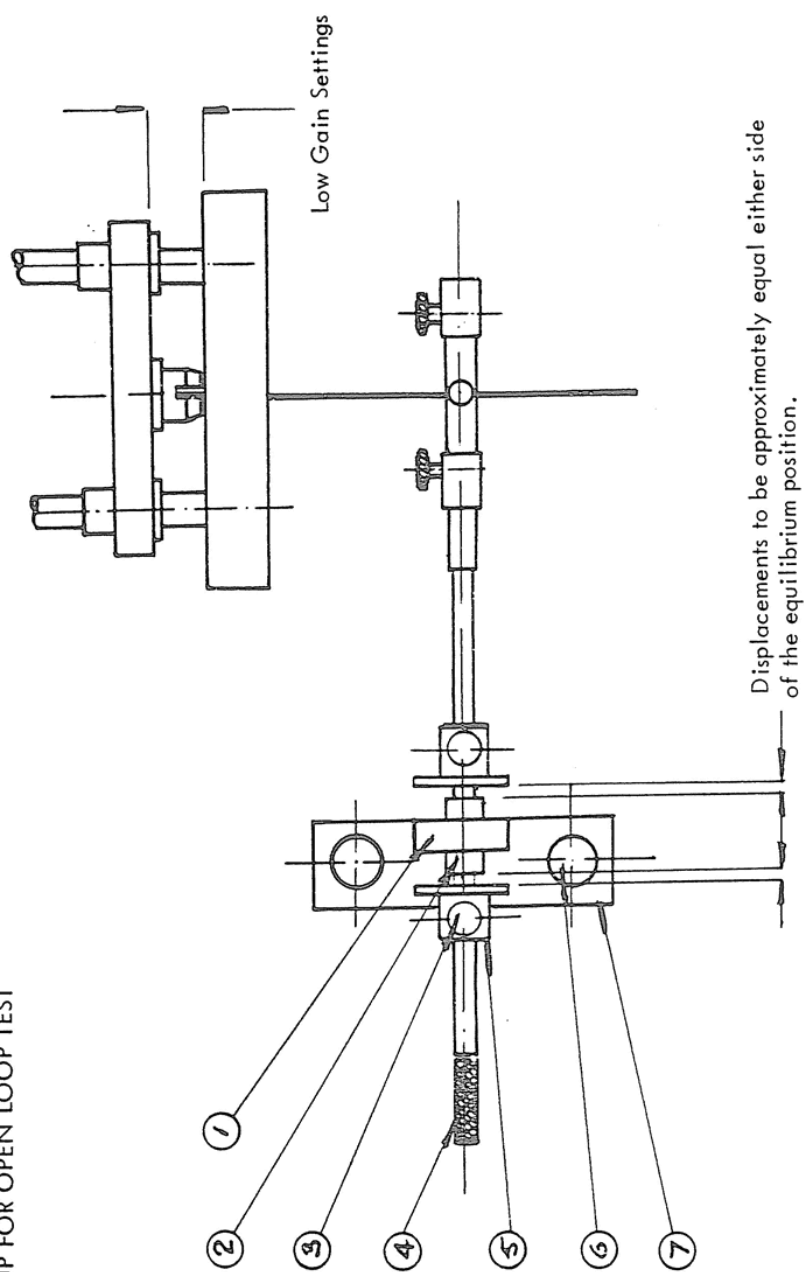


Fig. 26

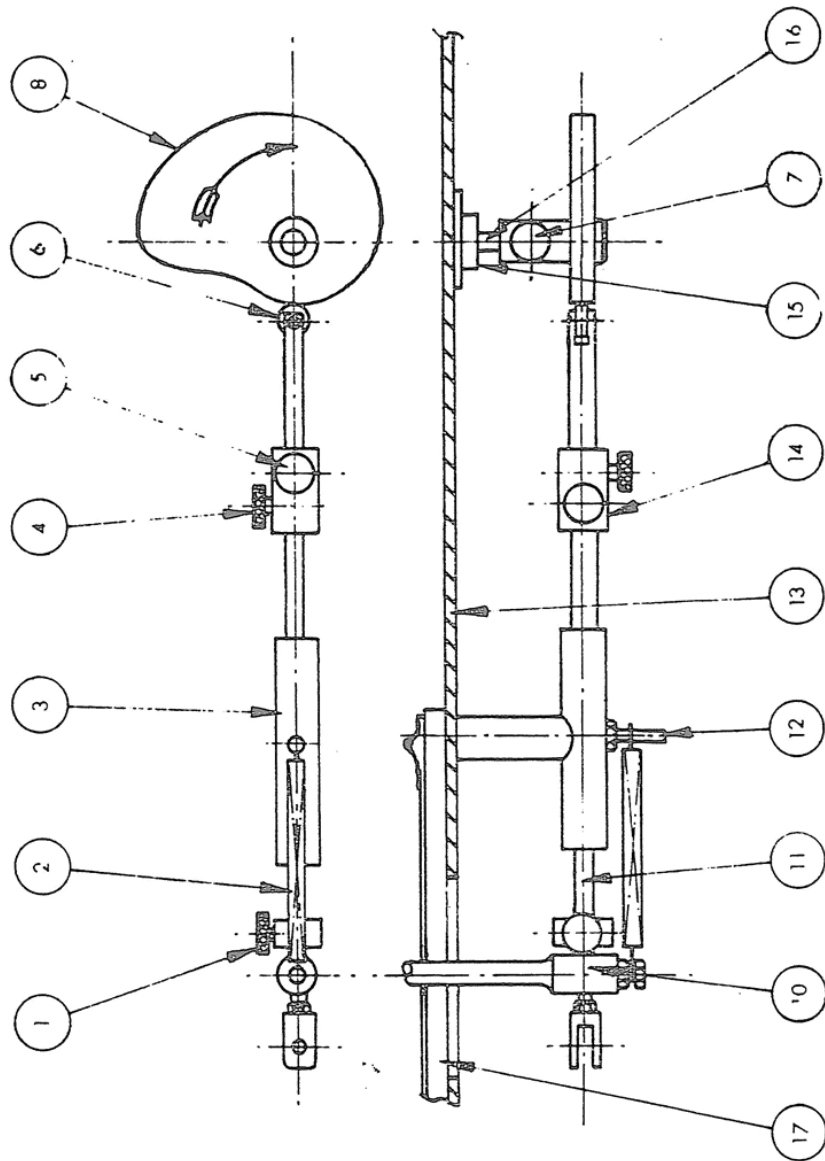


FIG. 29.

SET UP FOR SINUSOIDAL INPUT

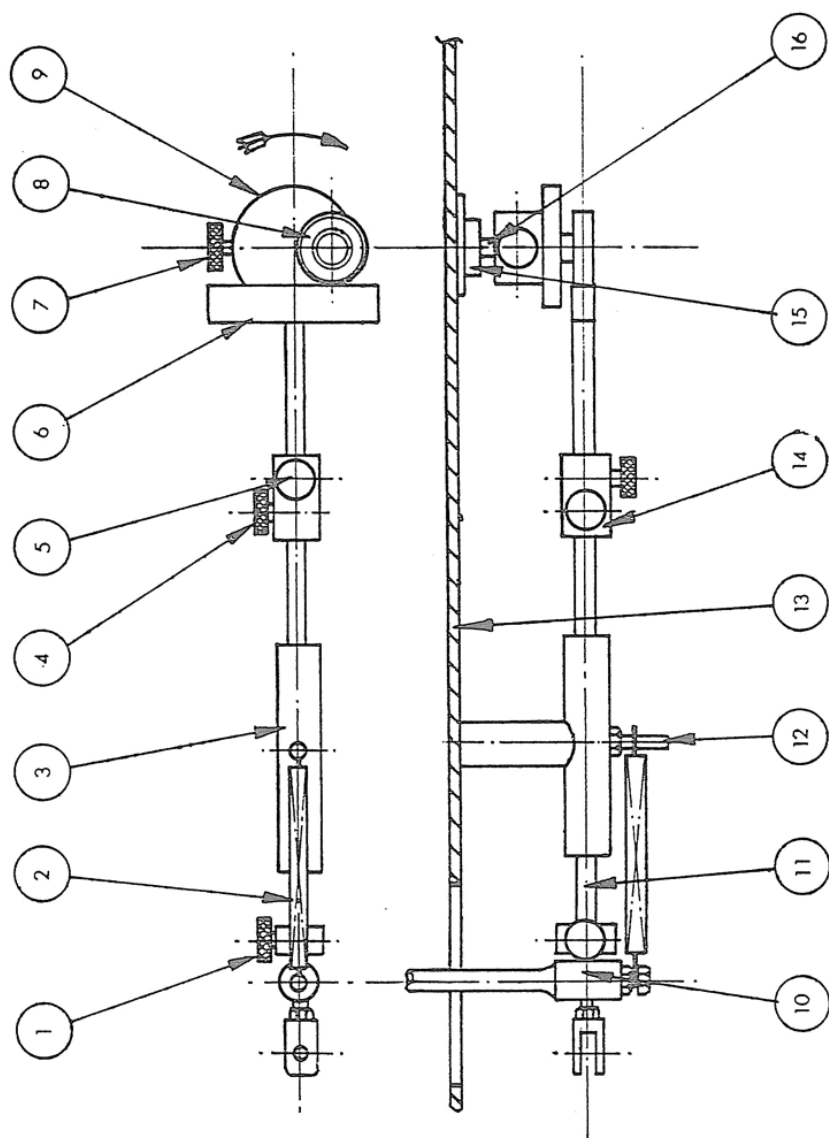
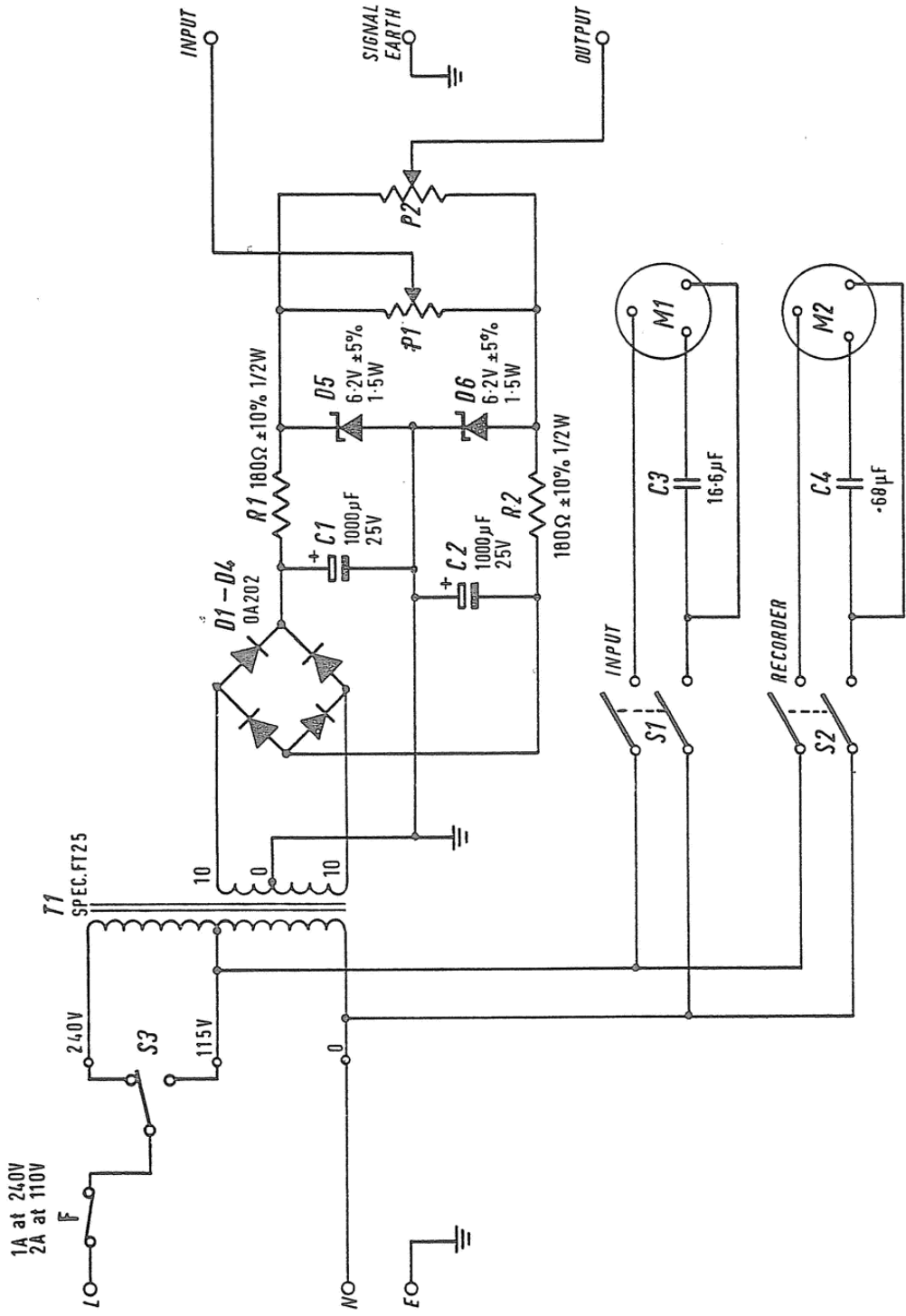


FIG. 30.



POWER SUPPLY FOR PCM 11.0

FIG 1.1.

WAVEFORM

BIODATA PENULIS

Penulis dilahirkan di Ambon pada tanggal 05 Desember 1993, merupakan anak pertama dari 4 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan di SD Yaperti kota Bekasi pada tahun 1999 – 2005, SMP Negeri 19 Kota Bekasi pada tahun 2005 – 2008, SMA Negeri 10 kota Bekasi pada tahun 2008 – 2011. Kemudian penulis melanjutkan studinya ke jenjang Diploma Tiga (D3) di Politeknik Negeri Jakarta, Kampus Universitas Indonesia, Depok Jawa Barat dengan jurusan Teknik Mesin program studi Alat Berat pada tahun 2011 – 2014. Setelah itu penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang Strata Satu (S1) di Fakultas Teknologi Kelautan

– Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan NRP. 4214106002, dan meraih gelar sarjana pada tahun 2017. Penulis selama masa perkuliahan terdaftar sebagai anggota UKM Kendo ITS, dan juga Surabaya Kendo Association. Pesan yang ingin penulis sampaikan adalah jangan cepat menyerah dalam menghadapi masalah, karena semakin banyak masalah yang pernah kita hadapi dapat membuat kita semakin dewasa dalam berfikir maupun bersikap, Percaya bahwa Tuhan tidak akan memberi cobaan diluar kemampuan hamba-Nya dan selalu berdoa. taufiq.hidayatr@gmail.com